الـجمهـوريــة الـعربيــة الـسوريـــة
جامعة البعث
كلية الهندسة المدنية
قسم هندسة وإدارة الموارد المائية

الإدارة الهيدروليكية للموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار سد ترابي والتخفيف من آثارها (منطقة الدراسة مجرى نهر العاصي بين سد قطينة والرستن ومحردة)

The Hydraulic Control Of Flood Wave Resulting from Probable Failure Of Earth dam Fail and Reducing its Results

دراسة أعدت لنيل درجة الدكتوراه في هندسة وإدارة الموارد المائية

إعداد المهندسة

ليلى بشير حلاوة

إشراف

المشرف العلمي	المشرف المشارك
الأستاذ المساعد الدكتور شعبان حديد	الدكتور المهندس مرتضى علي

2014-2015

الإهداء

يا من أحمل اسمك بكل فخر
يا من أفتقدك حتى الكبر
يا من يرتعش قلبي لذكرك
يا من أودعتني على بعدك حزينا أهديك نجاحي (أبي الغالي)

إلى حكمتي .....وعلمي
إلى أدبي ....وحلمي
إلى ينبوع الصبر والتفاؤل والأمل
إلى كل من في الوجود (أمي الحنون)

إلى الروح التي سكنت روحي
إلى القلوب الطاهرة الرقيقة والنفوس البريئة
إلى رياحين حياتي ونرجس أيامي (زوجي وأولادي)

إلى سندي وقوتي وملاذي
إلى من آثروني على أنفسهم
إلى من علموني معنى السعادة بقربهم
إلى من أظهروا لي أجمل ما في الحياة (إخوتي وعائلاتهم)

إلى همي الأول والثاني والأخير (سوريا الحبيبة)

شكر و تقدير

باقة ورد مع المحبة و الشكر و الامتنان

لكادر كلية الهندسة المدنية

وقسم هندسة وإدارة الموارد المائية ممثلة

برئيس القسم والسادة أعضاء الهيئة التدريسية

الذين كانوا خيرعوناً لي وكان لتوجيهاتهم أكبر الأثر

في وضعي على الطريق الصحيح لإتمام الدراسة

كل الشكر و التقدير

للسادة: الدكتور الفاضل شعبان حديد

والدكتور المحترم مرتضى علي

الذين تكرما بالإشراف على بحثي هذا و قدما

لي النصح و المساعدة والمتابعة الدائمة

حتى تكلل هذا العمل بالنجاح

من كل قلبي لكما كل الشكر والعرفان

ملخص البحث

تهدف الدراسة إلى محاكاة موجة الفيضان في نهر العاصي، ودراسة خصائصها نتيجة الانهيار الافتراضي لسد قطينة، وحساب الأضرار الناجمة عن الانهيار في المناطق الواقعة خلف السد، ودراسة تأثير هذا الانهيار الافتراضي على سد الرستن الذي يبعد (45 km) عن سد قطينة، وإيجاد الحلول الممكنة للتخفيف قدر الأمكان من هذه الأضرار.

حيث يعتبر سد قطينة من السدود الهامة بسبب موقعه بالقرب من مدينة حمص من جهة، ونظراً لقرب التجمعات السكنية والمنشآت الهامة من السد من جهة أخرى، ويصنف السد من السدود الترابية بارتفاع (7m) وحجم تخزين (200 مليون متر مكعب).

تم في الدراسة حساب عدة سيناريوهات

1 –سيناريوهات الفيضان بغزارات مختلفة.

2 –سيناريوهات انهيار افتراضي لسد قطينة وفق حالتين:

- السيناريو الأكثر خطورة (حالة تخزين أعظمي للسد).
- السيناريو الآمن (ارتفاع الغمر خلف السد أقل من 3m).

خلصت الدراسة إلى عدد من النتائج والمقترحات أهمها:

1 –تبين من الدراسة أن زيادة معامل خشونة ضفاف المجرى خلف السد له دور إيجابي في تخفيض قيمة التدفق الفيضاني، إضافة إلى تأخير وصول الموجة الفيضانية إلى مختلف المناطق خلف السد، بينما يؤثر بشكل سلبي في زيادة ارتفاع الغمر.

2 –تبين من الدراسة ضرورة اتخاذ الاجراءات الضرورية في السدود التي تقع على نفس المجرى (سد الرستن)، من تخفيض لحجم التخزين تمهيداً لاستقبال الحجم الوارد نتيجة انهيار السد الذي يسبقه.

مقترحات

1 –ضرورة إعادة تصنيف السدود المنفذة في سورية حسب معيار درجة الخطر الكامن للسد.

2 –ضرورة تضمين إضبارة كل سد لخطة طوارئ مفصلة، مرتكزة على عدة سيناريوهات لانهيار افتراضي للسد، لتحديد وتقسيم المناطق خلف السد حسب درجات الخطر.

Research Summary

The study aims to simulate the flood wave in the ASSI River, and study their properties as a result of the default of collapse Katina dam, and the calculation of the damage caused by the collapse in the areas downstream the dam, and study the effect of this virtual collapse on Rastan Dam, which is (45 km) from the dam Katina, and possible solutions to mitigate as much as possible from such damage.

Where the Dam Katina important dams because of its location near the city of Homs on the one hand, due to the near residential areas important from the dam and installations on the other hand, classifies the dam of earth dams up (7m) and the size of storage (200 million cubic meters).

The study has been in several scenarios study

1- Flood of different scenarios.

2- Default collapse scenarios Katina dam according to two cases:

- The most dangerous scenario (storage case maximal dam).
- Safe scenario (high flooding downstream the dam is less than 3m).

The study found a number of conclusions and proposals, including:

1. The study found that increasing the roughness of the banks of the stream factor downstream the dam ,has a positive role in reducing the flow value in addition to the delay in the arrival of flood wave to various areas downstream the dam, while a negative effect in increasing the height of flooding.

2. The study found the need to take the necessary measures in the dam, which lies on the same stream (dam Rastan), to reduce the size of storage in preparation for the reception of incoming volume as a result of the collapse of the dam, which preceded.

Proposals

1. The need to re-classification of dams implemented in Syria, according to the standard degree of risk inherent to fill.

2. The need to include all file dam detailed contingency plan, based on several of the collapse of the dam default scenarios, to determine the zoning downstream the dam by degrees of risk.

مقدمة

نظراً للأعباء التي يسببها خطر كارثة انهيار السد على الأفراد، والمجتمع بأسره، كان لابد من اختيار الطرق والأساليب العلمية لمواجهة هذا الخطر، وهو ما يطلق عليه إدارة كارثة انهيار سد.

بدأت بعض الدول بتخصيص الموارد المادية والطاقات البشرية للاستفادة القصوى من التقنيات الحديثة للحصول على المعلومات الصحيحة بدقة وسرعة، حيث إن اتخاذ القرارات الصحيحة في الوقت المناسب يرتبط بشكل كبير بتوافر المعلومات وموثوقية تلك المعلومات ويعتبر من العوامل الضرورية للتخفيف من الآثار و الخسائر في الأرواح، و الممتلكات الناجمة عن الكارثة.

تم جمع المعلومات من المصادر المختلفة وإدخالها في نظام المعلومات الجغرافي من أجل النمذجة الشاملة والدقيقة لمنطقة الدراسة خلف السد (سد قطينة)، ثم أُجريت دراسة هيدروليكية للموجة الفيضانية الناجمة عن احتمال انهيار سد ترابي وذلك باستخدام برنامج تحليل نظام الجريان في النهر HEC – RAS.

تساعد هذه التقنيات والبرامج في إدارة الكارثة وتسهم في اتخاذ القرارات ودعمها وتطوير الوسائل وإعطاء نتائج سريعة ومضمونة بكلفة اقل مع اختصار للوقت.

الهدف من البحث

- اقتراح بعض الحلول الهيدروليكية للتخفيف من الآثار السلبية للموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار سد ترابي.
- إعداد المكونات والمتطلبات الأساسية اللازمة لإعداد خطة طوارئ للتخفيف من آثار الانهيار في منطقة الدراسة.

الحدود المكانية والزمنية للبحث

دُرس موضوع البحث في الحدود التالية:

أ – الحدود الزمانية: تم اعتماد البيانات والبارامترات المأخوذة على النهر بين عام 2000 و 2010.

ب – الحدود المكانية: تشمل الأراضي على جانبي نهر العاصي بدءاً من المناطق الواقعة خلف سد قطينة مروراً بسد الرستن وصولاً إلى سد محردة.

منهج البحث

اعتمد الباحث على المنهج التاريخي في الفصل الأول والمنهج الوصفي والاستقرائي في الفصل الثاني والتحليلي في الفصلين الثالث والرابع.

مشكلة البحث

يحاول البحث الإجابة عن التساؤلات الآتية:

- ماهي الأسس المعتمدة لإدارة الموجة الفيضانية ونمذجتها في منطقة الدراسة؟
- هل يمكن التخفيف من آثار الموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار سد من خلال الدراسة الهيدروليكية لعناصر الموجة واقتراح بعض الحلول للتخفيف من الآثار السلبية لهذه الموجة؟.
- ما هي المتطلبات و الأسس العلمية اللازمة لإعداد خطة طوارئ خاصة بإدارة كارثة انهيار سد ترابي، و بالتالي التخفيف من الآثار والخسائر في الأرواح والممتلكات الناجمة عن الكارثة؟

محتويات الأطروحة

تتألف الأطروحة من مقدمة وأربعة فصول وفهرس للرسالة والأشكال والجداول، إضافة إلى قائمة بأسماء المراجع والمصادر العربية والأجنبية المستخدمة في البحث.

يحتوي الفصل الأول المفاهيم التالية:

1- تعريف وتصنيف السدود

2- مفهوم أمان السدود

3- انهيار السدود

4- إدارة الكوارث

5- مفهوم النمذجة والمحاكاة

6- مفهوم الموجة الفيضانية

7- مراجعة الدراسات السابقة

يحتوي الفصل الثاني مايلي:

1- توصيف المنطقة المدروسة

2- إنشاء نموذج لمنطقة الدراسة

3- معايرة النموذج

يحتوي الفصل الثالث:

1- الدراسة الهيدروليكية للجريان في حالات الطوارئ

- حالة الفيضان (سيناريوهات عند قيم مختلفة للفيضان دون حدوث انهيار للسد)
- حالة انهيار افتراضي لسد قطينة (سيناريو أعظمي – سيناريو آمن)

2- إعداد خطة طوارئ في حالة انهيار السد (قطينة نموذجاً)

يحتوي الفصل الرابع (إجراءات للتحكم بالفيضان والتخفيف من آثاره)

1- التخفيف من آثار الموجة الفيضانية انطلاقاً من العناصر الهيدروليكية للموجة (مثال زيادة معامل مانينغ للضفاف)

2- إنشاء أقنية تحويل لمياه الفيضان إلى أحواض تجميع (بحيرات تخزين)

3- إجراءات التفريغ من سد الرستن

النتائج والمقترحات

الفصل الأول

1- تعريف وتصنيف السدود

2- مفهوم أمان السدود

3- انـهيار السدود

4- إدارة الكوارث

5- مفـهوم النمذجة والمحاكاة

6- مفـهوم الموجـة الفيضانيـة

7- مراجعة الدراسات السابقة

1-1 تعريف السد:

- السدود هي الحواجز التي بنيت عبر الأنهار والجداول لحجز المياه والاستفادة منها لأغراض الإنسان، مثل الري وتوليد الطاقة الكهرومائية. ويؤدي حجز الماء إلى تشكيل البحيرات أو الخزانات. بُني أول سد معروف في 2900 قبل الميلاد، عبر نهر النيل لحماية المدينة من الفيضانات، واستمر إنشاء السدود في زمن الإمبراطورية الرومانية [59].
- السد هو منشأة تستخدم في تجميع مياه الجريان السطحي بهدف تخزينها في فترة الفيضان، لتستخدم في سد الاحتياجات المائية عند الضرورة [4].
- السد هو حاجز كتيم يعترض المجرى المائي مشكلاً خلفه بحيرة كبيرة، بهدف تخزين المياه أو حجزها.
- كلمة السد في الدراسات الهندسية تتضمن بالإضافة إلى الحاجز، كل الأجهزة و الأنظمة الضرورية التابعة و الموصولة به (فتحات تصريف ، بوابات ، معدات ميكانيكية و ......الخ).

1-1-1 أسباب بناء السدود:

1- توليد الطاقة الكهرومائية
2- الري حيث يمكن إرسال المياه المخزنة خلف السد باتجاه آخر إلى مكان لا تصل إليه المياه.
3- السيطرة على الفيضانات، وتسمى هذه السدود بالحواجز، تستخدم لوقف المياه في النهر أو إبطائها.

ووفقا لـ باتريك ماكولي، مدير الحملات في شبكة الأنهار الدولية، قد بُني أكثر من 800،000 سد في جميع أنحاء العالم لاستخدامات متعددة (مياه الشرب والسيطرة على الفيضانات، والطاقة المائية، والري، والملاحة، وتخزين المياه)[60] .

2-1-1 تصنيف السدود

يمكن تصنيف السدود وفقاً لما يلي [10] :

<u>1-2-1-1 حسب الغرض من إنشائها:</u>

الشرب و الاستخدامات المنزلية، الري، الاستعمالات الصناعية، توليد الطاقة الكهربائية، الحماية من الفيضان، متعددة الاستعمالات.

<u>2-2-1-1 حسب المواد المستعملة في إنشائها:</u>

- سدود ترابية: ويمكن تصنيفها حسب نسب المواد الداخلة في إنشائها إلى:

- سدود ترابية طبيعية: حوالي 50% من حجم السد من التربة الغضارية ناعمة الحبيبات، و التربة الرملية، أو الحصوية الرملية.
- سدود ركامية: يتألف القسم الأساسي من جسم السد من ترب حصوية خشنة، أو فتات صخري، و تحتوي على عنصر مضاد للرشح مقام من تربة غضارية، أو ترب ناعمة الحبيبات (سلت، سلت غضاري، غضار رملي).

- سدود حجرية: يتألف القسم الأكبر منها من ترب خشنة الحبيبات (كتل حجرية)، و العنصر المضاد للرشح (على شكل جدران حاجزة داخلية، أو حواجز رقيقة) يقام من مواد غير ترابية، حيث يمكن استخدام الفولاذ، أو الرقائق البلاستيكية أو العادية في بنائه.
- سدود بيتونية.

<u>1-1-2-3 حسب طريقة الإنشاء وهي:</u>

- سدود ردمية : تشاد بطريقة الردم على هيئة طبقات الواحدة تلو الأخرى و من ثم دحي كل طبقة ميكانيكيا"(رصها) للوصول إلى درجة الرص المطلوبة .
- سدود ترسيبية : يتم إنشاؤها بطريقة إهالة التربة في النهر (التجريف الهيدروليكي) ،وذلك بنقل التربة بمساعدة الماء الموجّه باستخدام مضخات خاصة لذلك إلى جسم السد.
- سدود نصف ترسيبية: تنشأ النواة بوساطة التجريف الهيدروليكي، وينشأ الباقي بطريقة الردم الجاف (سد الفرات في سوريا).
- سدود تبنى بطريقة التفجير الموجَّه : تنشأ هذه السدود من الفتات الصخري الناتج عن عمليات تفجير جوانب الموقع، و شروط استخدام هذه الطريقة أن يكون الموقع ضيقا"، و يقع في مناطق جبلية، أي عمق الوادي أكبر من عرضه، إلا أن من مساوئ هذا النوع من السدود أنها ذات نفوذية كبيرة للماء.

<u>1-1-2-4 حسب ارتفاع السد:</u> يصنف وفق معايير ICOLD[1] [65]:

- سدود منخفضة الارتفاع :حيث لا يزيد ارتفاع السد عن /30/متراً، ويصنف السد من الدرجة الرابعة.
- سدود متوسطة الارتفاع: ارتفاع السد أكثر من /30/ متراً، و أصغر أو يساوي/ 75/متراً و يصنف سد من الدرجة الثالثة.

[1] ICOLDهي الأحرف الأولى من International commission of large dams و تعني اللجنة الدولية للسدود الكبيرة

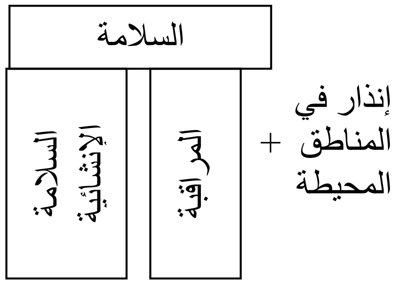
- سدود عالية: ارتفاع السد أكثر من /75/ متراً، و أصغر أو يساوي/ 125/ متراً، و يصنف سد من الدرجة الثانية.
- سدود عالية جدا": ارتفاع السد أكثر من /125/ متراً، و يصنف سد من الدرجة الأولى.

5-2-1-1 حسب درجة الخطر الكامن للسد: و هذا مرتبط بحجم الأضرار، والخسائر في الأرواح، و الممتلكات التي يمكن أن يسببها انهيار السد ويمكن تصنيفها إلى[26]:

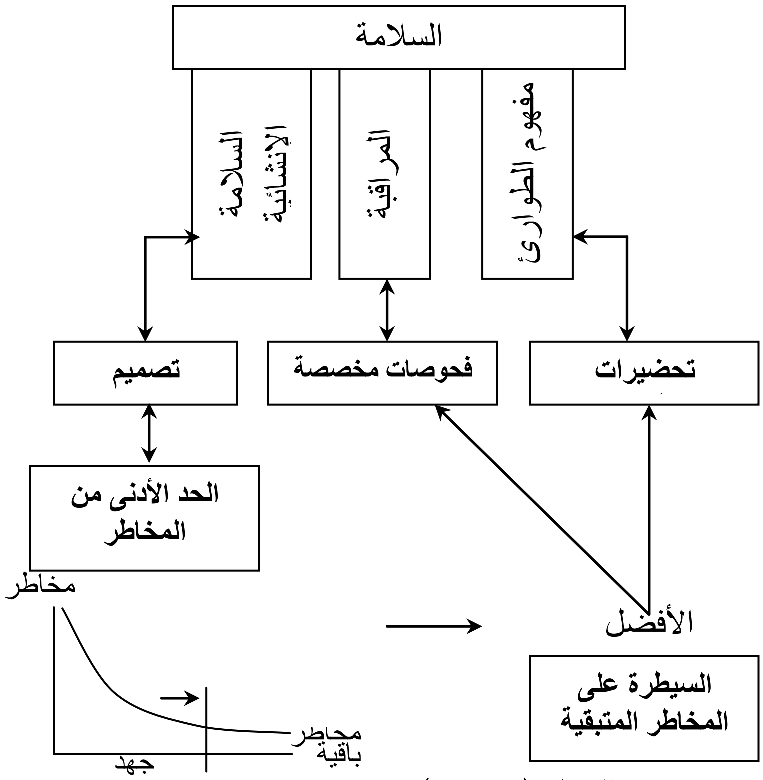
- درجة خطورة عالية: إذا كان انهيار السد يؤدي إلى احتمال خسائر في الأرواح/ 6/ أفراد، مع غمر في المنازل/منزلان أو أكثر/ الواقعة خلف السد وغمر لطرق المواصلات السريعة الرئيسية .
- خطرة: إذا كان انهيار السد يؤدي إلى احتمال خسائر في الأرواح مع غمر في المنازل/ليس أكثر من منزلين/ الواقعة خلف السد،غمر في بعض طرق المواصلات.
- خطورة منخفضة: إذا كان انهيار السد لا يؤدي إلى احتمال أية خسائر في الأرواح ، وارتفاع في منسوب المياه خلف السد دون أن يؤدي إلى غمر في المنازل (الواقعة خلف السد)، إضافة إلى احتمال غمر لبعض طرق المواصلات لفترة قصيرة.

2-1 تطور مفهوم أمان السدود

ارتكز مفهوم أمان(سلامة) السد حتى عام /1985م/على مبدأين وهما: ضرورة أن يحقق السد و منشأته الملحقة الأمان الإنشائي، بالإضافة إلى مبدأ المراقبة ، بهدف التقليل الأعظمي من المخاطر الناجمة عن إنشاء السد و منشآته الملحقة الشكل (1 – 1)، أما مفهوم أمان السد بعد عام /1985م/، فقد أضيف إليه مفهوم جديد وهو مفهوم الطوارئ بهدف التقليل من المخاطر، والسيطرة على المخاطر الباقية الشكل (1 – 2)[48,4] .



الشكل (1 – 1)



الشكل (1 – 2)

الشكل (1 – 1) مفهوم السلامة السويسري حتى عام 1985

الشكل (1 – 2) مفهوم السلامة السويسري بعد عام 1985

وهذا يعني أن تقييم حالة السد و منشآته الملحقة يجب أن تجري بشكل نظامي، وحتى قبل الإنذار الذي يهدد سلامته، مما يتطلب وجود خطة للطوارئ، و نظام تنبيه مناسب من أجل أمان السكان خلف هذه المنشآت، و بالتالي بات مفهوم أمان منشأة السد (السد و المنشآت الملحقة به) يرتكز على ثلاثة مبادئ و هي:

- الأمان الإنشائي : و هذا يعني وجود تصميم ملائم لمنشأة السد من أجل:
  - جميع الحمولات التي يخضع لها السد، و في مختلف ظروف العمل المتوقعة.
  - إمكانية إعادة تأهيله وفقاً للتطورات العلمية الأحدث.
  - إمكانية الأخذ بعين الاعتبار إجراءات الطوارئ المحتملة.
- المراقبة: إن هدف المراقبة هو معرفة الضرر الذي قد يلحق بالمنشأة بالسرعة الممكنة، واكتشاف السلامة الإنشائية، أو التهديد، كي يتم اتخاذ الإجراءات المناسبة.
- مفهوم الطوارئ: ظهر مفهوم الطوارئ كمبدأ ثالث لمفهوم أمان السدود عام /1985م/ بهدف أخذ كل الإجراءات الأولية المطلوبة عند الخطر، و قد حدّد الخبراء الإجراءات تبعاً لمستوى الخطر الذي قسّم إلى ثلاثة مستويات ولكي يتم العمل على هذه الإستراتيجية، يجب على خبير السدود أن يعرف العواقب، وهذا

يتطلب كمية من البيانات وقياسات متتالية أي زيادة المراقبة، كما يجب أن يمر الكشف النظامي في حالة متزايدة من المراقبة وبدون تأخير، بحيث تلبي القياسات متطلبات المرحلة الاستثنائية (الحالة الطارئة).

- مستوى الخطر الأول: يحدث عندما يقول خبير السدود (المهندس ذو التجربة و الخبرة) أنه يمكن السيطرة على الخطر بدون شك، وهذا يتم بتنفيذ الحلول المناسبة أو تخفيض منسوب تخزين الماء جزئياً في بحيرة السد (على سبيل المثال عندما يوجد خطر انزلاق كتل صخرية إلى بحيرة السد).
- مستوى الخطر الثاني: يحدث عندما لا يستطيع خبير السدود التأكد أنه يمكن السيطرة على الخطر، في هذه الحالة يجب تخفيض منسوب تخزين الماء جزئياً في بحيرة السد، كما يجب الاستعداد للإنذار،حيث إن الهدف من فرض هذه الإجراءات هو تقليل المخاطر، والتأكد من أنه يمكن إجلاء السكان خلال فترة قصيرة.
- مستوى الخطر الثالث: يحدث عندما- ووفقاً لرأي خبير السدود- لا يمكن تجنب تصدع السد، وفي هذه الحالة ، يجب إعطاء الإنذار وإخلاء السكان، حيث أن الهدف هو إخلاء السكان قبل حدوث الكارثة، وإعطاء فرصة للأشخاص العاملين في السد للنجاة.

1-3 انهيار السدود

1-3-1 تعريف انهيار سد

يعتبر انهيار السد إجراء معقد، يبدأ عادةً بخلل غير مكتشف في سلوك السد ووظائفه – تآكل وتلف تدريجي غير مراقب – يسبب فيما بعد أضراراً جسيمة أو كارثة، و بالتالي يمكن تعريف الانهيار بأنه: حركة أحد أجزاء السد، أو أساساته ، و بالتالي عدم مقدرة السد على الاحتفاظ بالماء، الأمر الذي يؤدي إلى تدفق كميات كبيرة من المياه، مما يعرض حياة الناس وممتلكاتهم للخطر[59].

جاء في تقرير اللجنة الدولية للسدود الكبيرة (ICOLD) أن 70% من السدود المنهارة هي سدود ركامية، و 28% سدود بيتونية ، و2% سدود مبنية من مواد مختلفة [65].

1-3-2 التهديدات و المخاطر التي تواجه السدود

يمكن تصنيف التهديدات و المخاطر التي تواجه السدود عموماً إلى [48,4]:

- تهديدات متوقعة و تشمل:

- السلوك الشاذ (غير الطبيعي) لعمل السد: ففي حالة السلوك الشاذ للسد، أو أساساته، من السهل السيطرة عليها أكثر من أي خطر آخر إذا تم إجراء المعالجة اللازمة في حينها، أما إذا كانت إجراءات المعالجة المتخذة متأخرة فإن مخزون السد من المياه قد يفيض، وبذلك يهدد حياة الناس (الواقعة منازلهم خلف السد) ، و في هذه الحالة يجب إجراء إخلاء تحذيري (احترازي).

– انزلاق التربة في جوانب البحيرة أو منحدرات السد الترابي.

– الفيضان.

- تهديدات غير متوقعة و تشمل:

– الزلازل : يجب أن يرتكز التصميم على أكبر حدث يمكن حصوله في الموقع، و ذلك عند دراسة المخاطر الطبيعية للفيضان والزلازل ، و نشير إلى أن الأضرار غير الخطيرة مقبولة(أي الأخطار التي لا تهدد الثبات الكلي للسد)، كما أنه لا يطلب إجراء صارم جداً إن كان الخطر نادراً ما يقع كل 1000 سنة.

– التخريب: و يقصد به التخريب المتعمد.

– الحروب: إن إجراء الحماية الوحيد الواجب اتخاذه في حالات الحرب والتدمير هو الإخلاء.

1-3-3 أشكال انهيار السدود :

هناك ثلاثة أشكال شائعة لانهيار السدود الردمية و هي [27] :

- الانهيار بسبب التآكل الخارجي : يمكن أن ينتج الانهيار عن التآكل (الحت) الخارجي نتيجة عدم التحكم بجريان الماء فوق السد، أو حوله، أو بالقرب منه، بالإضافة إلى الفعل الحات للماء على السد، حيث تأخذ المياه بجرف المواد ،فالسدود الردمية على وجه الخصوص معرضة للانهيار بسبب الحت الخارجي، لأن مواد جسم السد تتآكل بسهولة بوجود جريان مائي، و يأخذ الحت الخارجي عدة أشكال منها انسكاب الماء فوق قمة السد(overtopping).
- الانهيار نتيجة التآكل الداخلي (piping): يعرف التآكل الداخلي بأنه عملية انتقال جزيئات صغيرة من داخل جسم السد أو أساساته، وسبب هذه التآكلات هو وجود رشحان، أو تسريب زائد يؤدي إلى تمدد أو اتساع منطقة الرشحان، وبالتالي تنشأ مع الزمن فجوات وقنوات صغيرة،حيث تتسع هذه القنوات من الجهة الهوائية للسد، ويمتد هذا التآكل ويتقدم بالاتجاه المعاكس لتدفق الرشحان مشكلاً قنوات تضعف بنيان السد، كما أن استمرار الحت الداخلي للمواد يبدأ عادة من جهة الوجه الخلفي للسد أو الأساسات ويتقدم باتجاه الوجه الأمامي و أخيرا يؤدي لحدوث ثغرة ، بينما تكون السدود مصممة لتكون كتيمة قدر الإمكان.
- الانهيار الإنشائي: يمكن أن يحدث الانهيار الإنشائي عند الأكتاف ، و الأساسات والمنحدرات.

1-3-4 حوادث انهيار السدود

أظهرت الإحصائيات أن حوادث انهيار السدود تحصل في مراحل مختلفة من عمر السد و تصنف كما يلي[4]:

- حوادث الانهيار أثناء التنفيذ [63]: معظم حوادث الانهيار التي تحدث أثناء التنفيذ تعود للأسباب الآتية:

–خطأ في التصميم : يحدث عندما يتولى التصميم من لا يملك المقدرة الكافية عليه، وفي حال عدم إجراء تحريات كافية للموقع وللمواد المستعملة في بناء السد .

–خطأ في التنفيذ.

–عدم كفاية مجرى التحويل ليتسع الفيضان القادم : لعدم تقدير الفيضان بالشكل الصحيح أثناء التصميم.

–تأخير في البناء لأسباب غير معروفة.

- حوادث الانهيار أثناء التعبئة الأولى للسد أو بعدها: إن تعبئة السد لأول مرة عادة ما تكون خطرة، أو حاسمة، و في هذه المرحلة تجرى التجربة المتكاملة للسد و ملحقاته تحت مراقبة حثيثة لسلوك السد، كما يوصى أن تتم عملية التعبئة ببطء ، وإذا أمكن على مراحل (وفقاً لبرنامج مقترح من قبل مصمم السد)، بحيث يجرى بعد كل مرحلة تفحص لكامل السد، وأساساته، وجوانبه، وجميع ملحقاته بالتفصيل، كما يجب الانتباه لحدوث أية ظاهرة أو سلوك غير طبيعي مهما كان صغيراً، وذلك لعمل ما يمكن عمله وتلافيه في الوقت المناسب، كما يمكن أن يحدث الانهيار لأسباب ليست من مسؤولية المصمم أو المنفّذ، مثل الهزات، أو الانزلاقات الأرضية، وإمكانية حدوث هذه الظواهر يجب أن يؤخذ بالحسبان.
- الانهيار خلال تشغيل السد (مرحلة الاستثمار طويل الأمد):[60] أظهرت الدراسات المتعلقة بانهيار السدود أن أسباب حوادث وانهيارات السدود في هذه الحالة يعود إلى:

–خطأ بشري.

– عدم إجراء المراقبة والصيانة اللازمة و الدورية: حيث أن أحد الشروط الأساسية لاستمرار استثمار وتشغيل السد بشكل آمن، و أياً كان حجمه، هو الالتزام بمتابعة مراقبة سلوكه، وعندما يتم تحديد المشكلات الثانوية خلال الفحص ، يجب أن تعالج بالسرعة الممكنة، قدمت مؤتمرات اللجنة الدولية للسدود الكبيرة (ICOLD) وفرقها أيضاً معلومات وتقارير عن /1105/ حادثة في سدود لم تؤدِ إلى انهيارها، وأوضحت هذه المعلومات والتقارير أن جميع هذه الحوادث اكتشفت بالمراقبة المباشرة، أي المراقبات العينية [65].

– التعديل المقصود، أو غير المقصود في تصميم السد أثناء التنفيذ دون إبلاغ الجهة المصممة بذلك.

–التنفيذ الخاطئ نتيجة قلة الخبرة أو الإهمال. – الابتعاد وعدم التقيد بتعليمات تشغيل المفيض .

–التخريب المتعمد. – أخطار طبيعية كالزلازل ، و الفيضانات . – الحروب

–عدم كفاءة المفيض لتصريف الفيضان أدت إلى 65% من حوادث الانهيار.

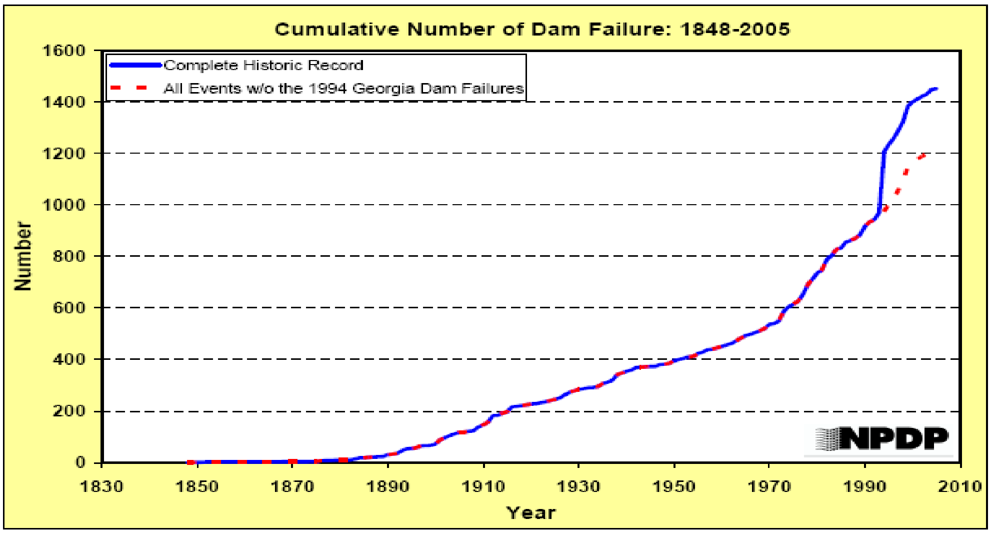
– عدم إمكانية تشغيل بوابات المفيض: حيث سجلت حالة انهيار لأحد السدود الركامية الكبيرة (سد Noppikoski) عام /1985م/ ، بسبب فشل قناة التصريف وفتحاتها بالقيام بوظائفها [67].

–التسرب الزائد يؤدي إلى حدوث فتحات داخلية ضمن جسم السد أو حول الأكتاف أو تحت أساسات السد.

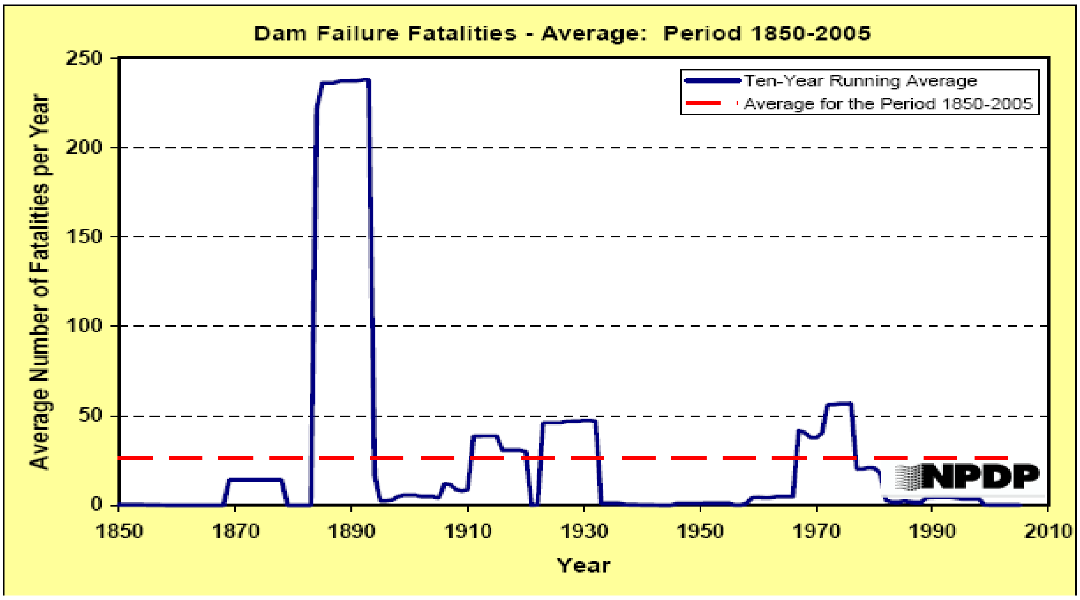
1–3–5 إحصائيات حول السدود المنهارة في العالم

تبيَّن التقارير و السجلات الإحصائية عدد السدود المنهارة في العالم وعدد الضحايا البشرية جراء انهيارها للفترة الواقعة بين / 1848م – 2005م/

يوضح الشكل (1–3) عدد السدود المنهارة في العالم [67] ، أما الشكل (1–4) يبين عدد الضحايا البشرية جراء انهيارها [67] :



الشكل (1– 3) عدد السدود المنهارة في العالم للفترة بين / 1848م – 2005م/

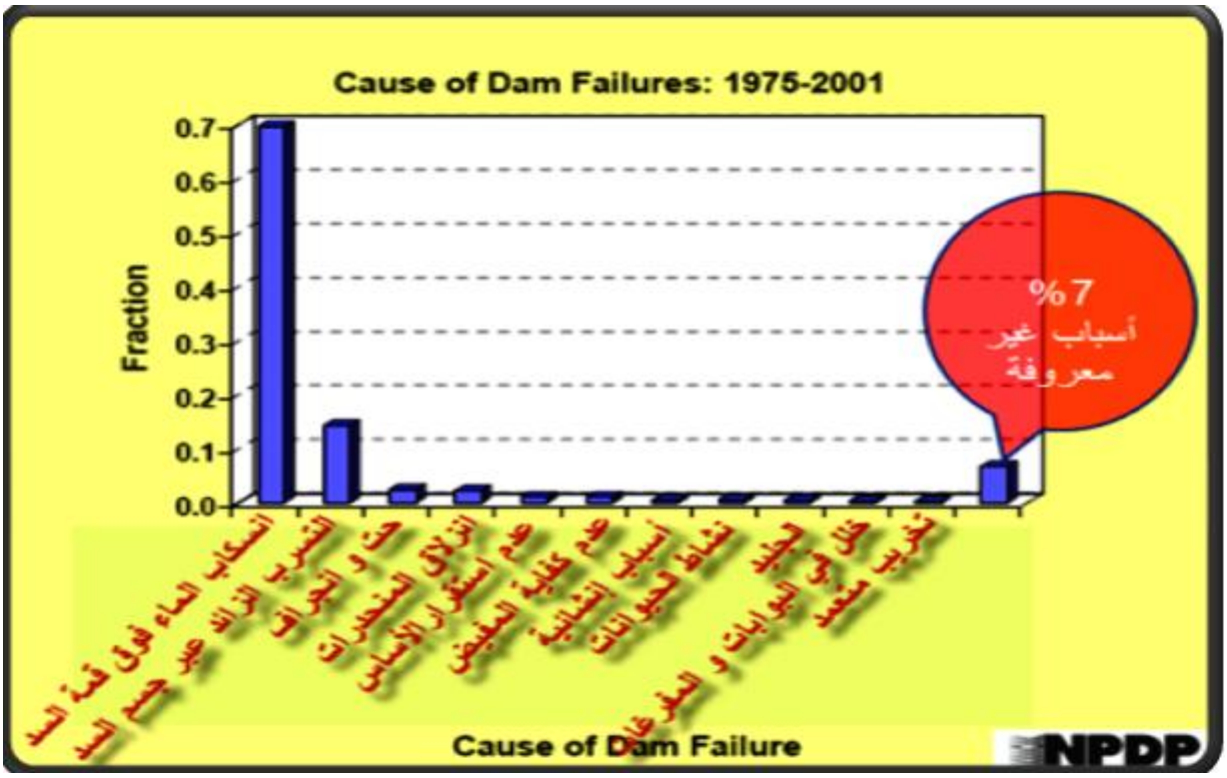


الشكل (1–4) العدد الوسطي السنوي لضحايا انهيار السدود في العالم للفترة بين / 1850م – 2005م/

1-3-6 إحصائيات حول أسباب انهيار السدود في العالم

تبين الإحصائيات أهم الأسباب التي أدت إلى انهيار السدود (من مختلف الأحجام)، و فقاً للدراسة التي أجريت على السدود المنهارة خلال الفترة الواقعة بين 1975م و 2001م، كما هو موضح في الشكل (1-5) فإن أسباب انهيار السدود هي [67]:

- انسكاب الماء فوق قمة السد.
- التسرب الزائد عبر جسم السد والأساس نتيجة التآكل الداخلي (piping).
- حت و انجراف (تشوهات ارتشاحية) في نواة السد والمناطق الانتقالية في جسم السد .
- انزلاق المنحدرات.
- عدم قدرة المفيض على تصريف مياه الفيضان.
- أسباب إنشائية.
- نشاط الحيوانات (قوارض- مواشي).
- الجليد.
- خلل في عمل المنشآت الملحقة بالسد (بوابات-مفرغات- مفيض).
- تخريب متعمد(انفجارات - حروب....).
- أسباب غير معروفة.



الشكل (1-5) أسباب انهيار السدود في العالم للفترة بين / 1975م - 2001م/

4-1 مفهوم الكوارث وتعريفها

تطرق العديد من الباحثين و المنظمات إلى مفهوم الكارثة و تعريفها و يمكن أن نورد بعضاً منها:

- **تعريف المنظمة الدولية للحماية المدنية:** هي حادثة كبيرة ينجم عنها خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات وقد تكون طبيعية مردها فعل الطبيعة أو صناعية أو فنية مردها فعل الإنسان سواءً كان إرادياً أو لا إرادياً وتتطلب مواجهتها معونة الحكومة الوطنية أو على المستوى الدولي إذا كانت قدرة مواجهتها تفوق القدرات الوطنية [1] .
- **تعريف الباحث منير البعلبكي للكوارث في موسوعة المورد:** هي الأحداث الفاجعة التي تصيب جمهرة من الناس فتشردهم أو تقضي عليهم، و هي صنوف متعددة أهمها كوارث العواصف والفيضان و الزلازل و الحريق و المناجم و كوارث الطيران و السفن و السكك الحديدية [17] .
- **تعاريف البرنامج الإنمائي للأمم المتحدة للكوارث[12]:**

✓ الكارثة: هي حالة خطيرة و قوة قاهرة تحدث إما بفعل الطبيعة أو بفعل الإنسان، و هي تحدث دون سابق إنذار، كما أنها تهدد بحدوث وفيات و أضرار بالممتلكات.

✓ الكارثة :اضطراب مأساوي مفاجئ في حياة مجتمع ما، يقع بمنذرات بسيطة أو بدون إنذار، و يتسبب أو يهدد بوفاة أو إصابات خطيرة أو تشريد أعداد كبيرة من أفراد هذا المجتمع تفوق قدرة و إمكانات أجهزة الطوارئ المختصة و السلطات المحلية أثناء التعامل معها في الحالات العادية ،و من ثم تتطلب تحريك وحدات مماثلة لها من أماكن أخرى لمساعدتها في مواجهة الكارثة و السيطرة عليها.

1-4-1 إدارة الكوارث

تزايد في الآونة الأخيرة الاهتمام بعلم إدارة الكوارث, حيث بات واضحاً ضرورة توقع الكارثة ومواجهتها، وذلك من خلال فريق متكامل يتم إعداده و تزويده بكافة الصلاحيات و الإمكانيات الضرورية لمواجهة الكوارث بأشكالها المختلفة، حيث لم تعد مسألة إدارة الكوارث من الأمور التي يمكن تجاهلها، أو تركها للارتجال و العشوائية ،و قد تطرق العديد من الباحثين إلى تعريف إدارة الكارثة :

2-4-1 تعريف إدارة الكارثة:

هي جميع الإجراءات والخطوات الضرورية واللازمة للتعامل مع وضع غير طبيعي أو غير عادي، وذلك بهدف تقليل الأضرار والخسائر في الأرواح والممتلكات لأقصى حد ممكن ، فهي عملية طويلة تحتوي على العديد من عمليات التخطيط والنشاطات وأخذ القرارات والتجربة والممارسة، وهي تغطي المسافة الكبيرة بين الإجراءات الوقائية وصولا إلى الإجراءات العلاجية المتأخرة [1].

1-4-3 مراحل إدارة الكارثة

تنقسم مواجهة الكوارث إلى ثلاث مراحل وهي [6,7,14]:

أ -مرحلة ما قبل الكارثة : وهى مرحلة التخطيط المسبق للمواجهة وتشمل:

(1) تحديد نوعيات الكوارث المختلفة ومصادر الأخطار والأماكن المعرضة المتوقعة.

(2) جمع البيانات وإعداد قواعد المعلومات.

(3) إعداد نظم الاتصالات ونظام الإنذار من الكارثة.

(4) توفير الإمكانيات (البشرية والمادية) وتنظيمها.

(5) تحليل المخاطر والتوقعات والمشاكل التي يُحَتمل أن تنجم .

(6) توفير وسائل التوقع بالكوارث .

(7) وضع الخطط والسيناريوهات والتنسيق بين مختلف الجهات المعنية .

(8) التدريب على أعمال الإنقاذ (إعداد فرق الإنقاذ).

(9) تخزين المعونات من غذاء وإيواء وأدوية لمواجهة الكوارث.

ب **مرحلة وقوع الكارثة:** تبدأ هذه المرحلة بوقوع الكارثة، و تعتبر قصيرة الأجل نسبياً، إلا في حالات الكوارث الناتجة عن المجاعات و الجفاف و الأوبئة، و تنتهي بانتهاء الدولة من القيام بعمليات الإنقاذ و الإسعافات الأولية، و تقديم الخدمات الضرورية للضحايا ، و تأمين احتياجاتهم.

ج -**مرحلة ما بعد الكارثة:** يطلق عليها أيضاً مرحلة التعمير و إعادة الإسكان و التأهيل، لأنها تأتي بعد مرحلة وقوع الكارثة مباشرة، و هي امتداد لها فما زال الضحايا بحاجة إلى مساعدات مستمرة تشمل إعادة تأهيلهم للحياة الاجتماعية و إيوائهم و إعمار المنطقة المنكوبة.

1-4-4 أهم الكوارث المحتمل حدوثها في سوريا

يمكن أن تواجه الجمهورية العربية السورية كغيرها من الدول على سطح الكرة الأرضية العديد من الكوارث الطبيعية و غير الطبيعية المحتمل حدوثها على أراضيها، و ذلك بسبب البنية الجيولوجية المعقدة، والتضاريس الجغرافية المتنوعة في أراضيها و التنوع في الطبيعة و المناخ، و التي تحتاج إلى المزيد من الدراسة العلمية و التعمق و البحث العلمي الجاد و المتطور للتعامل مع الكوارث المحتملة، و لتجنب سلبياتها و التخفيف من حدتها و تلافي آثارها المدمرة، و تفادي تحويلها إلى أزمات مما يوجب على الجهات المعنية الحكومية و العلمية و المنظمات الشعبية ووسائل الإعلام، اتخاذ الإجراءات و التدابير، و تقديم الأبحاث العلمية و الدراسات و نشر التوعية اللازمة بين صفوف الشعب و الاستعداد التام لمواجهتها بشكل علمي منظم للتقليل من آثار الكوارث المحتملة التي من أهمها الزلازل، السيول، الفيضانات الناجمة عن انهيار السدود، الجفاف، الحرائق، انتشار الأوبئة [6].

5-1 مفهوم المحاكاة (Simulation)

المحاكاة هي طريقة أو أسلوب تعليمي يستخدمه المعلم عادة لتقريب الطلبة إلى العالم الواقعي الذي يصعب توفيره للمتعلمين بسبب التكلفة المادية أو الموارد البشرية، ويعتقد بأن أسلوب المحاكاة قد استخدم منذ أن وجد الإنسان على الأرض، كما أشارت بعض الدلائل التاريخية إلى أن أول لعبة محاكاة في تاريخ البشرية هي لعبة الشطرنج التي ترجع إلى سنة 3000 قبل الميلاد في الصين والتي كانت تهدف إلى التدريب على المناورات العسكرية. أما جذور لعب المحاكاة فترجع إلى بداية الحضارة اليونانية؛ فقد بيَّن أفلاطون وغيره من الفلاسفة اليونانيين أهمية تقليد المواقف الحياتية من خلال التدريب عليها [3] .

وتعريف (Rosenberg) للمحاكاة يمكن أن يكون أكثر توضيحا فهو يُعرف المحاكاة على أنها عملية تقليد سلوك نظام ما باستخدام الوسائل المتاحة فى نظام آخر، حيث يقلد النظام الأساسي بكل خصائصه فى النظام البديل.

ومنذ منتصف الستينات من القرن العشرين ازداد الاهتمام بالمحاكاة كطريقة مناسبة وفعالة في عملية التعليم وخاصة بعد ظهور الحواسيب؛ حيث أصبحت عملية المحاكاة للمفاهيم والأنشطة والتجارب تتم من خلال الحاسوب ، وأصبح لها دور هام وبارز في العملية التعليمية.

ومع تطور الحواسيب ازدادت المحاكاة الحاسوبية فاعلية وإثارة في تدريس المفاهيم والمواضيع العلمية المختلفة وتنوعت لغات المحاكاة واستخداماتها في التدريس، كما استخدمت المحاكاة في التقليل من الخسائر المادية والمعنوية، وهذا ما جعلها من النشاطات الفاعلة والممتعة في إرساء أسس التعلم لبعض المهارات والمواضيع الصعبة التي يصعب التعامل معها دون مخاطر في الواقع.

وفي البرامج التعليمية المعززة بالحاسوب تمثل المحاكاة تكراراً لظاهرة ما في الطبيعة، بحيث يصعب تنفيذها داخل المختبر، نظراً لخطورتها أو لارتفاع تكلفتها.

1-5-1 تعريف النمذجة (modeling)

هي عملية التعرف على السمات والصفات والسلوك والخصائص والقدرات وترميزها وإعادة صياغتها بشكل مبسط له مدلول. أي هي القدرة على تكرار الأشياء المنمذجة أو نقلها أو إظهارها ولكن بشكل أسهل فهماً[3] .

وهي التركيز على ما وراء الشيء المراد نمذجته من مهارات أو صفات أو خبرات وأسباب وجودها وصياغته بشكل رمزي وهنا يجب أن يجد المصمم مبررا لوجود أي رمز أو تبسيط لعنصر من عناصر النمذجة.

2-5-1 النمذجة باستخدام الحاسب

النمذجة بالحاسب هي استعمال الحاسب في تمثيل أشياء أو محاكاة لتتابع سير عمليات فى منظومة أو منتج ما. ولنماذج الحاسب قيمة علمية عالية لأنها تسمح لشخص ما أن يدرس استجابة النظامِ أو المنتج المراد اختباره فى ظل ظروف لا يمكن أن يتعرض لها بسهولة بشكل آمن فى المواقف الحقيقية [34].

يمكن أن يسمح النموذج للباحث أن يدرس عمل النظام وسلوكه وما يمكن أن يحدث عند تعديل أحد المكوناتِ الفرديةِ المتغيرة من النّظامِ.

ويعرّف نموذج الحاسبِ عادة على شكل تعبيرِات وعلاقات رياضيةِ باستخدام برنامجِ للحاسب. توضع مثل هذه المعادلات الرياضية لتمثّل عِلاقات وظيفية ضمن نظام. عندما ينفذ البرنامج فإن التتابع فى العمليات الرياضية يكون تمثيلا ومحاكاة لديناميكية النّظامِ الحقيقي، وتُعطى النَّتائِج على شكلِ بياناتِ.

1-5-3 الفرق بين النمذجة والمحاكاة

الفرق بين النمذجة والمحاكاة بسيط للغاية فالمحاكاة هي التفاعل بين عدد من النماذج لخلق حالة ديناميكية يمكن من خلالها التعرف على نتائج تفاعل النماذج مع بعضها بعضاً[8].

فعندما نخلق عدداً من الكرات المعدنية باستخدام أحد برامج النمذجة وعندما نعطيها ألواناً وخامات وانعكاسات وغيرها من الصفات، ومهما كانت دقة التمثيل، فإنها تظل نماذج ولا تكون ابداً محاكاة إلا إذا استُخدمت في دراسة اصطدام واحدة منها بالأخرى أو تجمعها بشكل ما لخلق نموذج مركب ديناميكى يكون فيه أفعال وردود أفعال، ويكون هناك استجابات محددة ومدروسة مبنية على خصائص النماذج وطبيعتها، إذاً فالنموذج شيء Object أما المحاكاة فهي حالة State .

1-5-4 خطوات إعداد دراسة باستخدام المحاكاة:

هناك خطوات عريضة لإعداد دراسة باستخدام المحاكاة وبناء نموذج مناسب وهي[11,34]:

1 تكوين المشكلة أو تشكيلها:

وهي من أهم الخطوات في بناء نموذج محاكاة وتتم بعرض واضح وكامل للمشكلة أو النظام المراد دراسته وتتم بالتعاون مع واضعي القرارات والذين يهمهم حل المشكلة ثم وضعها في شكل نموذج رياضي أولي قابل للتطوير لاحقاً.

2 وضع الأهداف والخطة الشاملة:

تتكون الأهداف من الأسئلة المراد الإجابة عليها بوساطة المحاكاة وهنا يجب التركيز على الأهداف المرجوة وتكوين المشكلة الناتجة من الخطوة السابقة وعلى ضوء ذلك يُقرر أن المحاكاة هي الطريقة المناسبة للحل وبالتالي يجب وضع الخطة الشاملة بحيث يمكن دراسة البدائل الممكنة للنظام والموارد المتاحة من فريق عمل وموارد ومصادر مالية.

3 فهم وبناء النموذج:

يُعد بناء النموذج للنظام فناً بالإضافة إلى أنه علم وذلك لأنه ليس من الممكن إعطاء مجموعة من التعليمات والتي ستقود بالضرورة إلى بناء نموذج في كل حالة ولكن هناك خطوط رئيسية يمكن الاهتداء بها. إن فن النمذجة يعزز بالمقدرة على تجريد الخواص الأساسية للمشكلة لاختيار وتطوير الفرضيات الأساسية والتي تميز النظام ومن ثم إغناء تفاصيل النموذج وزيادته حتى نحصل على تقريب جيد للنظام ونتائج مقبولة وقابلة للتطبيق، ولهذا فمن الضروري البدء بنموذج بسيط ثم زيادة التفاصيل المهمة حسب

الضرورة حتى نصل إلى درجة التعقيد المطلوبة والتي لا يجب أن تزيد عن الهدف المراد مع الأخذ في الاعتبار انه ليس من الضروري أن يكون النموذج صورة طبق الأصل للنظام الحقيقي بل إن روح النظام الحقيقي هي المطلوبة. كما ينصح بأن يكون المستفيد من النموذج مشاركاً في جميع هذه المراحل لكي يعرف كل الاعتبارات المأخوذة في تصميم النموذج ولكي يستطيع فهم النتائج واستخدامها.

4 -جمع البيانات:

هناك تفاعل حقيقي بين بناء النموذج وجمع البيانات الضرورية للمدخلات فبقدر دقة البيانات المدخلة تتقرر دقة النموذج وصحته وبالتالي المخرجات والنتائج كما يجب جمع البيانات للمدخلات أثناء وضع الخطوط الرئيسية للنموذج وزيادتها حسب تطور تعقيد النموذج، وتحدد الأهداف الموضوعة نوع البيانات المطلوب جمعها.

5 -ترجمة النموذج:

بما أنه ينتج عن معظم الأنظمة الحقيقية نماذج تحتاج إلى تخزين كم هائل من المعلومات وإلى مقدرة حاسوبية قوية فلهذا يجب ترجمة النموذج إلى شكل مفهوم من الحاسب إما بكتابة البرامج المطلوبة أو باستخدام حزمة برامج محاكاة مثل GPSS/PC أو SIMAN أو HEC–RAS أو SIMPROCESS وبرامج المحاكاة المذكورة أكثر قوة ومرونة من البرامج المكتوبة.

6 -التصديق:

يكون التصديق بتحديد فيما إذا كان النموذج يمثل بدقة النظام الحقيقي ويتم بمعايرة النموذج وذلك بمقارنته مع النظام الحقيقي وتعديله إذا لزم الأمر وهي عملية تكرارية تستمر حتى تصبح الاختلافات بين النموذج والنظام الحقيقي صغيرة إلى حد يقبل به المستخدم.

7 -تصميم التجارب :

في هذه الخطوة نحدّد المتغيرات المراد فحصها بالنموذج، كما يُقرر في هذه الخطوة زمن بدء المحاكاة وطول إجراءات المحاكاة Simulation runs وعدد التكرارات لكل إجراء.

8 -التوثيق والتقرير :

وهذه خطوة مهمة جداً نقوم فيها بتوثيق البرامج الحاسوبية وتوثيق النموذج نفسه حتى يمكن استخدامه من قبل أي باحث لاحقاً كما أنها مفيدة جداً لمن وضع النموذج أصلاً لكي يتذكر تفاصيل عمله بعد زمن. التقرير هو الناتج النهائي للعمل كله وهو الذي يُقدم إلى صانعي القرار ويتكون من النتائج التي حصلنا عليها من جميع الخطوات السابقة ويجب أن يحوي ملخصاً واضحاً ونتيجة دقيقة لصانعي القرار.

1-6 مفهوم الموجة الفيضانية :

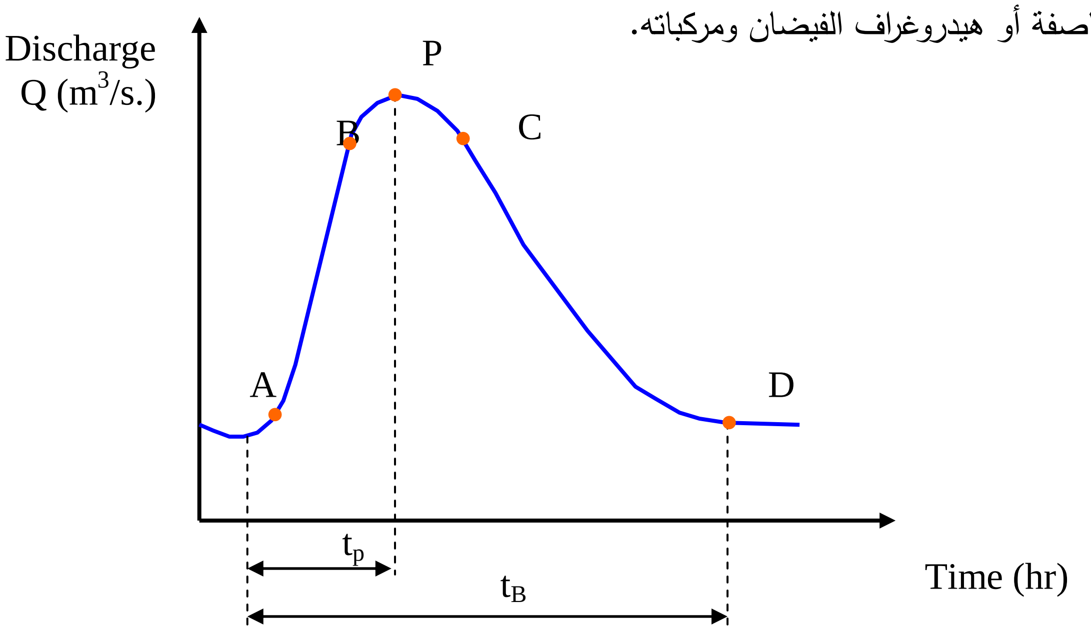
تعريف الفيضان Flood [13]:: عبارة عن إرتفاع منسوب ماء النهر بصورة غير عادية بحيث يفيض النهر على ضفتيه ويغرق المنطقة المجاورة، إن مخطط ماء الفيضان (الهيدروغراف) للفيضانات العالية و بيانات مناسيب المياه المقابلة لذروات الفيضان توفر معلومات و بيانات مهمة تساعد في التصميم الهيدرولوجي، يعتبر معيار ذروة الفيضان من أهم المعايير المستخدمة وأوسعها إنتشاراً، ففي موقع معين تتغير ذروات الفيضان بين سنةٍ وأخرى وتشكل مقاديرها السلسلة الهيدرولوجية والتي من خلالها يمكن تحديد التردد لذروة الفيضان، وعملياً يمكن القول أنه عند تصميم جميع المنشآت الهيدروليكية فإن تصريف الذروة لتردد (مرة واحدة لكل 100 سنة مثلاً) يعد ذا أهمية لإنشاء هذه المنشآت و تحقيق الغرض منها ، ويوجد عدة طرق لحساب مقدار ذروة الفيضان:

- الطريقة العقلانية Rational Method
- الطريقة الوضعية (التجريبية) Empirical Method
- طريقة الهيدروغراف Hydrograph Method
- دراسات تردد الفيضان Flood – Frequency Studies

إن اختيار أحد هذه الطرق يعتمد على عدة عوامل منها :

الغرض المنشود، البيانات المتوفرة، أهمية المنشأ

تعريف مخطط ماء الفيضان (الهيدروغراف)[13] : هو تعيين العلاقة بين التصريف والزمن في المجرى المائي نتيجة فيضان معين في المجرى أو النهر سببه عاصفة مطرية أو انهيار سد، الشكل (1-6) يمثل هيدروغراف العاصفة أو هيدروغراف الفيضان ومركباته.



الشكل (1-6) هيدروغراف الفيضان

- الطرف الصاعد AB (Rising Limb) : وهو الزيادة في التصريف بسبب الزيادة التدريجية في التدفق الفيضاني فوق حافة النهر مع الزمن.
- قطعة الحافة BC (Crest Segment) : وهي أحد الأجزاء المهمة من الهيدروغراف لأنها تحتوي على ذروة الجريان، والتي تحدث عندما تتشارك مناطق مختلفة من ضفاف النهر بنفس الوقت في قيمة التدفق الفيضاني الأعظمي.
- الذروة Peak)P) : النقطة الواقعة بين نقطتي الإنقلاب B و C .
- الطرف الهابط (منحني الإنحسار)CD: إن منحني الإنحسار يمتد من نقطة الإنقلاب في نهاية قطعة الحافة إلى وقت بدء عودة التدفق في النهر إلى وضعه الطبيعي ضمن المجرى.
- وقت الذروة tp (Peak Time) : الوقت من النقطة A حتى نقطة P .
- زمن القاعدة tB (Base Time)

1-6-1 نمذجة الموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار السد [15]

هي محاكاة كلاسيكية لمشكلة التدفق غير المستقر في الأنهار، وتتم عملية النمذجة على مرحلتين:

1- حساب الرسم البياني المائي للتدفق الخارج من السد (Outflow Hydrograph) والتي تشمل محاكاة انهيار السد.

2- متابعة تدفق المياه المخزنة خلف السد عبر فتحة الانهيار ثم متابعة المنحني المائي عبر الحوز السفلي للسد.

السمة الهامة لموجة الفيضان هي حجم الفيضان وليس تصريف الذروة ، واستمرارية الفيضان أي الزمن الذي يبقى خلاله تصريف الفيضان فوق عتبة معينة) وهو الأكثر تأثيراً واتصالاً بمخاطر الفيضان.

<u>العناصر الأساسية اللازمة لتحليل عملية انهيار السد:</u>

1- تقدير متغيرات الانهيار (شكل الانهيار وحجم فتحة الانهيار وزمن الانهيار)

2- تقدير ذروة الانهيار(ذروة التدفق أي حجم الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار)

3- حساب الرسم البياني المائي للفيضان (Hydrograph) الناجم عن انهيار السد وهو يعتمد على: الخصائص الفيزيائية للسد مثل هندسة السد ، ومواد البناء، وشكل الانهيار، بالإضافة لحجم تخزين السد.

4- تتبع الفيضان ومناسيبه خلف السد.

5- تحديد الظروف الهيدروليكية في المواقع الحساسة (منشآت مائية، جسور عبارات).

1-6-2 طرق حساب الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار [15]

1 – طريقة التحليل المقارن: إن أبسط نهج في تحليل عملية انهيار السد هو التحليل المقارن، أي تقدير تصريف ذروة الانهيار (حجم الموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار السد) ومتغيراتها باستقاء ذلك من حالات سابقة لانهيار سد مماثل (في الحجم، والهندسة، والارتفاع، والانحدار وسعة ومساحة الخزان، الخ)

2- المنهج التجريبي (Empirical Methods)

يستخدم في هذه الحالة معادلات (Macdonald–Langridge) والتي تعتمد على التحليل الإحصائي للبيانات التي تم الحصول عليها من الانهيار (كحجم المياه المندفعة من فتحة الانهيار، وارتفاع المياه خلف السد، وتوسع فتحة الانهيار مع الزمن)، للتنبؤ بوقت الانهيار والأبعاد الهندسية لفتحة الانهيار.

3- النماذج المبنية على المبادي الفيزيائية والعلاقات المادية السببية

من النماذج المستخدمة لحساب الموجة الفيضانية نموذج (أو برنامجBREACH) ، المستخدم على نطاق واسع، والذي يستخدم نموذج التعرية (Erosion Model) المبني على أساس مبادئ النقل الهيدروليكية (الرسوبيات والتربة)، وما أغفله المنهج التجريبي (مثل مساحة وحجم التخزين، وأبعاد السد، وخصائص التربة وأثار الماء المتدفق خلف السد) للتنبوء بقيمة التدفق الأعظمي (ذروة الموجة الفيضانية)، وشكل وتطور وتوسع فتحة الانهيار مع الزمن.

4- النماذج الهيدرولوجية (Hydrologic Models)

تعتمد النماذج الهيدرولوجية على معادلة الاستمرار (Continuity Equation) ، ويعتبر النموذجين (HEC-HMS , HEC-1) من أهم النماذج الهيدرولوجية وهي الأكثر استعمالا لتحليل سلامة السد، وكلاهما يمكنان من حساب الرسم البياني المائي للفيضان أي "هيدروغراف الانهيار"، لكن النماذج الهيدرولوجية لا توفر معلومات عن المناسيب أو عن سرعة تدفق المياه و هي غير مناسبة عندما يكون حجم التخزين خلف السد كبيرا.

5- النماذج الهيدروليكية:(Hydraulic Models)

تعتبر النماذج الهيدروليكية أكثر "تجريبية" من النماذج الهيدرولوجية اذ أن لديهم متغير واحد فقط للمعايرة وهو (معامل الخشونة)، وهي تستخدم معادلات سيانت فيانت (St. Venant Equations) أي معادلة الاستمرارية، إلى جانب موازنات الطاقة والتدفق (Energy and Momentum Balances) لحساب المناسيب، وسرعة تدفق المياه.

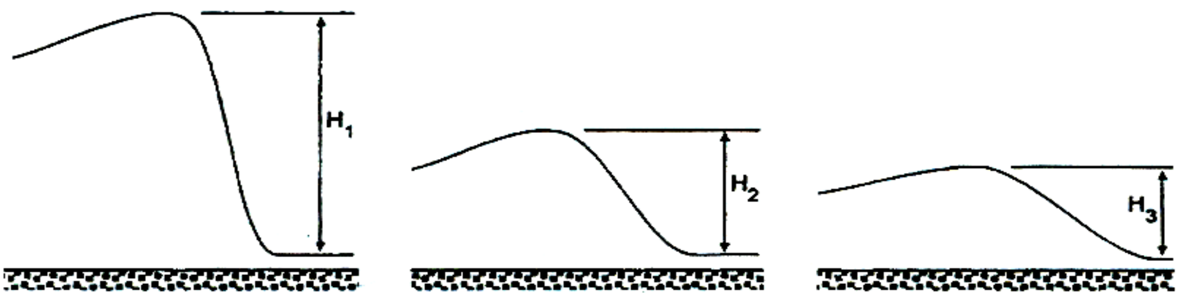
وتنقسم النمذجة الهيدروليكية في التحليل الى قسمين:

1- انسياب أوتدفق مستقر (Steady Flow Analysis) مع تجاهل عامل الوقت تماما، ويمكن تحليل وتحديد ارتفاع سطح المياه، وسرعة تدفقها في قطاع عرضي معين باستخدام معادلة مانينغ (Manning's equation) في ظل افتراض ظروف تدفق متغير تدريجياً.

2- انسياب أوتدفق غير مستقر وغير ثابت (Unsteady Flow Analysis) حيث التغيرات في معدل التدفق المائي تعتمد على الوقت ويتم تحليلها كمتغيرات، ويتم تقدير حجم الفيضان وسرعة تقدمه نحو المواقع الحساسة خلف السد، يُعد برنامج التدفق غير المستقر (HEC-RAS) هو الأكثر استخداما، حيث يمكننا من استخدام نموذج هيدروليكي لتحليل سلامة السدود.

1-6-3 تخامد الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار

يبين الشكل (1-7) الأطوار الثلاثة التي تمر بها الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار خلف السد مباشرة[39]



قرب السد — على بعد بضعة كيلومترات من السد — على بعد عدة كيلومترات من السد

الشكل (1-7) تخامد الموجة الفيضانية

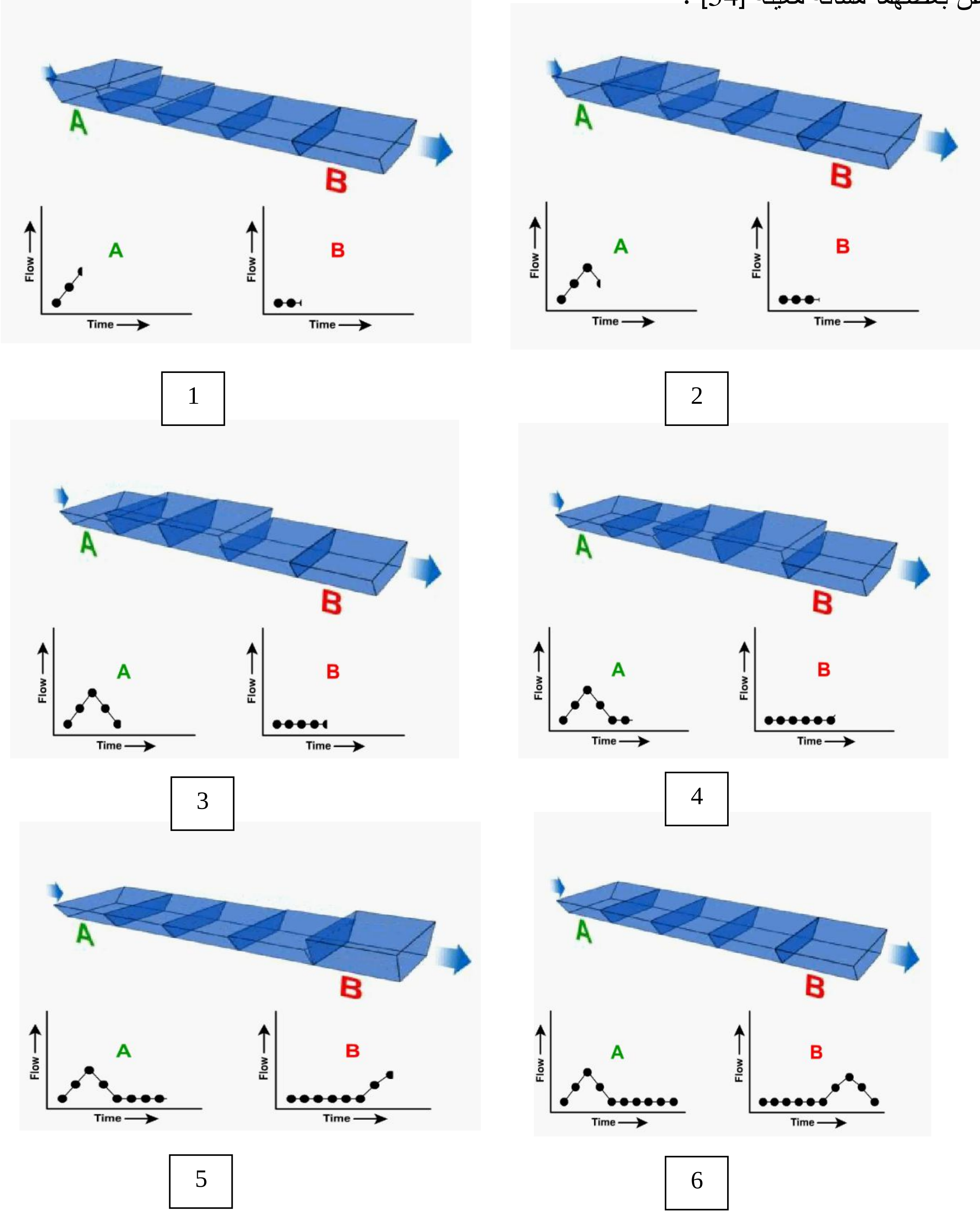
❖ تغير شكل الموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار السد [38]

حيث يتأثر شكل الموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار السد بالعوامل الآتية:

- الشكل الأولي للموجة والذي يتبع لارتفاع جسم السد.
- حجم التخزين في حوض التخزين (البحيرة).
- طبيعة الجريان في الحوز السفلي خلف السد.
- مقاومة الجريان في الحوز السفلي.

❖ تقدم الموجة الفيضانية

يبين الشكل (1−8) كيفية تقدم الموجة الفيضانية وانتشارها، والعلاقة بين التدفق والزمن في مقطعين يبعدان عن بعضهما مسافة معينة [54] .



الشكل (1−8) انتشار الموجة الفيضانية والعلاقة بين التدفق والزمن .

1-6-4 الدراسة الهيدروليكية للموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار سد ترابي:

تتكون المناطق خلف السد في معظم الأحيان من مجرى متغير المقطع وغالبا ما توجد على جوانبه تجمعات سكنية أو فعاليات اقتصادية كمنشآت معامل أو أراض زراعية، وعند حصول الانهيار يجري الماء بتدفق كبير، وخلال مده قصيرة، وفي هذه الحالة يحصل تدفق فيضاني متغير مع الزمن ينتقل في مجرى متغير المقطع متنوع التضاريس يختلف فيه الميل الطولي من منطقة لأخرى وكذلك الغطاء النباتي على ضفاف المجرى وبالتالي يكون الجريان الناتج عن انهيار السد غير منتظم وغير مستقر (non–uniform & unsteady flow) والذي تتغير عناصره مع الزمن والمسافة ويضاف له تغير المقطع الآني خلف السد [18].

1-6-5 معادلات Saint – Veaant

اعتمدت أغلب الدراسات السابقة على معادلات Saint–Veaant في محاكاة الموجة الفيضانية ودراسة خصائصها نتيجة الانهيار الافتراضي للسد من هذه الدراسات((1971) Fread، (1978) Rudi Rager، (1981) Victor Miguel Ponce *and* Andrew J–Tsivoglou)، حيث تستخدم المعادلة (1-1) في تحليل الجريان ضمن المجرى الطبيعي خلف السد و التي سيتم حلها و برمجتها رياضيا باستخدام الحاسب الالكتروني [20,39].

$$\frac{dz}{dx}=\frac{S_0-S_f-[2Q.q_*/(gA^2)]}{1-[Q^2/(gA^2D)]} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1-1)$$

حيث:

$\frac{\partial z}{\partial x}$: ميل سطح الماء (تغير عمق الماء مع المسافة).

$q_*=\frac{dQ}{dx}$ وهو تغير التدفق مع المسافة ، D: عمق الماء

S_0 : ميل قاع المجرى.

$S_f=\frac{Q^2.n^2}{A^2R^{4/3}}$: ميل خط الطاقة.

n : عاملماننغ. Q: التدفق (m^3/S). A: المقطع الهيدروليكي(m^2).

R : نصف القطر الهيدروليكي(m) g : التسارع الأرضي.

تمثل المعادلات التفاضلية رقم (1-2) العلاقات العامة للجريان غير المنتظم وغير المستقر:

$$
\begin{aligned}
&\frac{\partial z}{\partial x}dx + \frac{\partial z}{\partial t}dt = dz \\
&\frac{\partial v}{\partial x}dx + \frac{\partial v}{\partial t}dt = dv \qquad \text{..................} \quad (2\text{-}1) \\
&D\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \\
&\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{v}{g}\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t} = S_0 - S_f
\end{aligned}
$$

حيث : $\frac{\partial z}{\partial t}$: تغير عمق الماء مع الزمن.

$\frac{\partial z}{\partial x}$: ميل سطح الماء.

$\frac{\partial v}{\partial t}$: تغير السرعة مع الزمن. $\frac{\partial v}{\partial x}$: تغير السرعة مع المسافة.

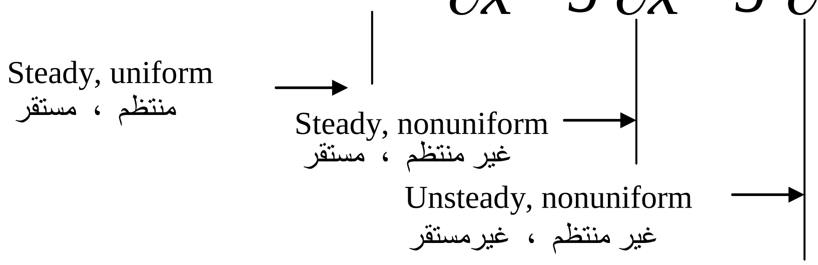
S_f : ميل خط الطاقة. S_0 : ميل قاع المجرى.

dz : التغير الكلي للعمق. dv : التغير الكلي للسرعة

إن المعادلتين $(1-1)$ و $(2-1)$ هما معادلتا سانت فينانت (Saint Venant)

ويمكن كتابة المعادلة الأخيرة من المعادلات التفاضلية$(2-1)$ بالشكل التالي لتوضح مكونات الأنواع المختلفة للجريان $(3-1)$.

$$
S_f = S_0 - \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{v}{g}\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{1}{g}\frac{\partial v}{\partial t} \quad ...... \quad (3\text{-}1)
$$



1-6-6 البرامج الحاسوبية المستخدمة في نمذجة الموجة الفيضانية وإدارتها

❖ برنامج HEC- RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System)

تم استخدام برنامج تحليل نظام الجريان في النهر HEC – RAS لدراسة الجريان في الحالتين التاليتين [25]

- الجريان في النهر بالحالة المستقرة (Steady Flow) (حالة الاستثمار)
- الجريان في حالة الفيضان الناجم عن انهيار السد (Unsteady Flow) باستخدام معادلات Saint – Veaant في دراسة الموجة الفيضانية الناتجة عن انهيار السد.

1-7 مراجعة الدراسات السابقة:

تعمقت الدراسات والأبحاث في السنوات الأخيرة خصوصًا بعد أن تعرضت الكثير من الدول والمجتمعات لكوارث مختلفة قوبلت بالكثير من التعاطف والمساعدة من دول أخرى عديدة وبالتحليل والبحث من قبل العلماء والمتخصصين الفنيين وصولاً إلى تصنيع آلات الإنقاذ والمعالجة وأجهزة التحذير والإنذار بقرب وقوع الكارثة ووضع الخطط والإجراءات لمواجهتها وهذا ما يسمى بعلم إدارة و مواجهة الكوارث.

ومشكلة تصدع السدود و انهيارها هي مشكلة قديمة في علم الهيدروليك الرياضي وتعتبر من الكوارث التي لها تأثير كبير على كافة الأصعدة (الإنسانية والاقتصادية والبيئية ....) لذلك كان لابد من دراسة وإحداث نموذج قابل للتطبيق بشكل عام للتنبؤ بتأثير الأمواج الفيضانية الناتجة عن انهيار السد على المناطق الواقعة خلف السد، ويكون الهدف من هذه الدراسات التقليل والحد من الكم الهائل من الخسائر في الأرواح والملكيات.

نُشرت– وما تزال– أبحاث في دراسة النماذج الفيزيائية و العددية والرياضية، وهناك أبحاث تعرض و تغطي حالات انهيار السدود في العالم.

وسنقوم بإلقاء الضوء على أهم الدراسات العربية والأجنبية السابقة المتعلقة بمشكلة انهيار السدود،

الدراسات السابقة العربية

1-7-1 محاكاة موجة فيضان نهر دجلة نتيجة الانهيار الافتراضي لسد الموصل [5]

ثائر محمود الطائي، انس محمد محمود رشيد (2009)

يصنف سد الموصل من السدود الإملائية ذات الحجاب الطيني و بارتفاع نحو 105 m وسعة تخزين $11.1*10^9$ m^3/S .

يهدف البحث إلى محاكاة موجة الفيضان في نهر دجلة ودراسة خصائصها نتيجة الانهيار الافتراضي لسد الموصل، وكذلك تقدير المساحات المتضررة خلف السد ولا سيما في مدينة الموصل التي تقع على بعد 60 Km منه، وذلك بتطبيق نموذج حاسوبي وباستخدام نظام المعلومات الجغرافية.

تم دراسة عدة سيناريوهات (عدة مستويات تخزين للسد) لمحاكاة موجة الفيضان الناتجة عن الانهيار.

توصل الباحث إلى احتمال انغمار مدينة الموصل عند مستوى 235.3 m فوق مستوى سطح البحر، وبتصريف لموجة الفيضان قدره $207.632\ m^3/s$ وبسرعة جريان للموجة قدرها 3.5 m/s عند افتراض انهيار السد عند منسوب تخزين أعظمي مقداره 330 m فوق مستوى سطح البحر، وسيتم وصول موجة الفيضان إلى مدينة الموصل بعد نحو 5.5 hour من بدء انهيار السد، ووصول أقصى عمق للمياه 25.3 m فوق مستوى قعر نهر دجلة في مدينة الموصل بعد نحو 9 hour من انهيار السد وأن المساحة المغمورة المقدرة بين موقع السد والموصل هي $252\ km^2$، وتصل نسبة المساحة المغمورة في مدينة الموصل إلى نحو 54% من المساحة الكلية للمدنية.

وتم متابعة دراسة موجة الفيضان في مقطع نهر دجلة بين موقع السد ومدينة الموصل ليتم تأخير القيمة العظمى لتصريف موجة الفيضان الناتجة عن الانهيار بنسبة (% 43−38)، وقد تم تحديد المنشآت الأساسية التي ستغمرها المياه الفيضان في مدينة الموصل، إذ تعد هذه المعلومات ذات قيمة أساسية خاصة للمؤسسات التي تعتني بوضع خطط الطوارئ .

1−7−2 النموذج الرياضي لانهيار السدود البيتونية (الكونكريتية) (سد باستورا) [37]

Najm O.S. Alghazali,Dilshad A.H. Alhadrawi (2012)

يهدف البحث إلى محاكاة الانهيار الافتراضي لسد باستورا والتبوء بموجة الفيضان الناتجة عنه، يعتبر سد باستورا من السدود الكونكريتية المرصوصة بالحدل ويقع في شمال العراق على مسافة (30km) من مدينة أربيل

عند محاكاة الانهيار تم دراسة خمس حالات لعرض فتحة السد وهي (0.2,0.3,0.35,0.4,0.5) من طول قمة السد لإيجاد أعظم تصريف خارج من السد. وللتنبوء بموجة الفيضان وحساب منحني التدفق من السد تم استخدام البرنامج الحاسوبي (HEC_RAS) الذي يستند على معادلات (saint venant) ذات البعد الواحد للجريان غير المستقر.

توصلت هذه الدراسة إلى حساب أعظم منسوب للماء وأعظم تصريف في (11) مقطع من النهر خلف السد في حالة انهياره نتيجة الإجهاد المفرط، وتم كذلك تحديد مستوى الإنقاذ ووضع خطة طوارئ.

1−7−3 رسالة دكتوراه تحذر من انهيار السد العالي بسبب سدود إثيوبيا [2]

أحمد سلميان، علاء الظواهري، خالد حسين، هشام بخيت (2014)

يهدف البحث إلى التحذير من أن سد النهضة المزمع إنشاؤه في الأراضي الإثيوبية سيتم انهياره بعد الانتهاء من بنائه، نظرا لوجود مشاكل فنية في بناء السد، وهو ما سيترتب عنه أضرار والتي قد تصل إلى انهيار السد العالي، حسب الدراسة.

نفذ الباحث نموذج هيدروليكي لانهيار سد النهضة باستخدام عدد من النماذج والطرق الهيدروليكية وبيانات المناسيب الرقمية، إضافة لصور الأقمار الصناعية وبعض بيانات وزارة الري.

لفتت الدراسة إلى أن انهيار سدود "الروصيرص وسينار ومروي"، إضافة لانهيار الحاجز الأساسي لسد النهضة سيخلف آثارا على بحيرة ناصر، وفور وصولها لدرجة امتلاء 60% سيضغط على السد العالي مما يعرضه للانهيار.

توصل الباحث في بحثه إلى أن السد العالي سينهار بعد انهيار السدود الإثيوبية الأربعة بثلاث أسابيع نتيجة التدفقات المائية الناتجة عن الانهيار فستصل المياه إلى مدينة الخرطوم في خلال أسبوع بتدفق أعظمي يصل إلى $230\ m^3/S$، وستصل إلى بحيرة ناصر خلال ثلاثة أسابيع بتدفق أعظمي يصل إلى $85000\ m^3/S$، وأشار الباحث إلى إمكانية التأثير على المنشآت المائية القائمة على طول مجرى السد في حال وجود نسب ملأ تتراوح بين (% 50 – 0) في حالات التصريف المختلفة.

<u>الدراسات السابقة الأجنبية</u>

1-7-4 الإجراءات اللازمة لتقدير الخسائر في الأرواح الناجمة عن انهيار سد [56]

Wayne J. Graham (1999)

يهدف البحث إلى درسة سلامة السدود وتقييم المخاطر الناجمة عن انهيار السدود والعوامل التي ساهمت في حدوث خسائر في الأرواح وتحديد عدد الوفيات الناجمة عن الانهيار.

تمت دراسة السدود التي انهارت في الولايات المتحدة بعد عام 1960 والتي أسفرت عن أكثر من 50 حالة وفاة والتحقيق في أسباب الانهيار حيث تبين أن الخسائر في الأرواح الناجمة عن انهيار سد يتأثر إلى حد كبير بثلاثة عوامل:

1) عدد الأشخاص الذين يعملون في السد المنهار أثناء الفيضان.
2) التحذير الذي يتم توفيره للناس الذين يتعرضون للفيضانات الخطيرة.
3) شدة الفيضانات.

أما الإجراءات لتقدير الخسائر في الأرواح بسبب انهيار السد يعتمد بشكل كبير على البيانات التي تم الحصول عليها من انهيار سدود الولايات المتحدة. وتتكون هذا الإجراءات من خمس خطوات:

1) تحديد سيناريوهات انهيار السد ودراستها بشكل كامل.
2) تحديد زمن وصول الفيضان إلى الأماكن المأهولة بالسكان والمعرضة لخطر الفيضان
3) تحديد موعد بدأ التحذير من انهيار السد.
4) تحديد مناطق الغمر وفق كل سيناريو لانهيار السد.
5) تقدير عدد الأشخاص المعرضين للخطر وفق كل سيناريو انهيار للسد.

1-7-5 دراسة انتشار الموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار سد ركامي في طاجاكستان [18]
(Alford/ 2000, Stucky Consulting Engineers /2001)

يهدف البحث إلى دراسة المنطقة بين سد (USOI) جنوب شرق طاجيكستان وبلدة موسكوفسكي وإجراء المحاكاة للموجة الفيضانية باستخدام النموذج الحسابي ذو البعد الواحد الذي وضعه (Denlinger and Iverson/2001).

نفذت الدراسة من قبل:

- الفورد (2000) حيث طبق عدة سيناريوهات بحجوم مختلفة للفيضان واستخدم النموذج الهيدروليكي المعروف باسم (DAMBRK)
- شركة الاستشارات الهندسية (Stucky/2001) حيث قامت بتطبيق عدد من السيناريوهات بارتفاعات مختلفة للماء أمام السد و حصول الانهيار بشكل overtopping (انسكاب الماء من فوق السد).

توصلت الدراسة إلى رسم مخطط الفيضان للمنطقة المدروسة وتحديد ارتفاع الغمر وزمن وصول الموجة الفيضانية، وساعدت نتائج هذه الدراسة في تطوير نظام للإنذار المبكر، والذي هو عنصر من أنشطة شركة USGS الشاملة المتعلقة بالأخطار في بحيرة ساريز(بحيرة السد USOI)، حيث تقوم الشركة بالتدريب على تطبيقات نظام المعلومات الجغرافية (GIS) للمهندسين في طاجاكستان والمتخصصين في إدارة الكوارث.

➢ 1-7-6 دراسة الموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار سد (THA DAN)، تايلاند [41]
Pakorn PETCHPRAYOON (2001)

الهدف من هذه الدراسة دراسة خصائص الموجة الفيضانية وتحديد المناطق المتضررة باستخدام نموذج رياضي، واستخدام تقنية الاستشعار عن بعد، ونظام المعلومات الجغرافية.

تمت محاكاة انهيار السد في سيناريوهات مختلفة، السد بيتوني ارتفاعه (114 m) سعة تخزينه ($224*10^6$ m^3).

فكانت نتائج انهيار السد وفق (أسوأ سيناريو) ارتفاع المياه أمام السد لحظة الانهيار 43.8 m ، والتدفق الفيضاني 221.506 m^3/s ، بسرعة (19.7 m/s)

- وصول الموجة الفيضانية إلى مدينة (Amphoe Muang) التي تقع على بعد 27.8 كم من موقع السد خلال 1.3 ساعة وعلى أعلى مستوى للمياه يصل إلى 9 أمتار فوق مستوى سطح البحر في غضون 5 ساعات.
- ارتفاع المياه الفيضانية في (Amphoe Muang) يمكن أن يصل إلى (3.5 m) في المدينة باستمرارية للغمر تصل إلى 39 ساعة بتدفق فيضاني يصل إلى (8.837 m^3/s) بسرعة تقريبا (4m/s)
- مساحات الغمر من تأثير كارثة الفيضانات تصل إلى ما يقرب من (391.8 km^2).

استخدمت نتائج هذه الدراسة في التخطيط العمراني و استخدام الأراضي، وتم استخدامها من قبل المنظمات ذات الصلة في القطاعين العام والخاص في إعداد الخطط الإستراتيجية لحماية السكان والممتلكات والأراضي الزراعية والحد من تأثيرات هذا الفيضان المدمرة والكارثية في منطقة الحوض الفيضاني.

1-7-7 تقييم المخاطر الناجمة عن انهيار سد باستخدام تكنولوجيا نظم المعلومات الجغرافية

Kabdasli and B. Rudvan (ITU, Istanbul Technical University) (2001) [31]

يهدف البحث إلى إنجاز المحاكاة العددية لحادثة انهيار السد وانتشار الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار باستخدام تكنولوجيا النمذجة المتقدمة التي أصبحت أداة لا مفر منها لعملية صنع القرار بالاستعانة مع نظم المعلومات الجغرافية [31] .

حيث تم استخدام البيانات التي تنتجها نظم المعلومات الجغرافية لإنتاج نموذج الارتفاعات الرقمي كقيم أولية للموديل FLDWAV الذي يقوم بدراسة انتشار الموجة الفيضانية ومحاكاتها في المنطقة الواقعة خلف السد المعرض للانهيار، حيث يقدم هذا الموديل (ارتفاع الماء وزمن وصول الموجة في كل مقطع من المقاطع المدروسة خلف السد) .

تم دراسة عدة سيناريوهات لانهيار سد Alibeyköy في اسطنبول، ودُرس أسوأ سيناريو وهو أن شكل الانهيار من النموذج overtopping ومنسوب الماء أمام السد مساوٍ لارتفاع السد (حجم تخزين أعظمي)، وبوابات المفيض مغلقة

فكانت أهم نتائج البحث:

- رسم خرائط الغمر وفق سيناريو الانهيار الأخطر والاستفادة منها في تحديد درجة الخطورة والأضرار الناجمة عن الانهيار و إجراء العديد من الاحتياطات طويلة وقصيرة الأجل للسيطرة على الفيضانات
- تبين أهمية ونجاح استخدام نظم المعلومات الجغرافية على نطاق واسع في تحديد خرائط الغمر ويمكن كذلك أن تستخدم في إنشاء نظم للإنذار المبكر. ويمكن القول إن تكلفة إنشاء نظام للإنذار المبكر في جميع السدود سيكون أقل كلفة من الأضرار الواجب تحملها بعد انهيار السد.

1-7-8 نمذجة انهيار جسم السد [36]

Mohamed A. A. Mohamed, Paul G. Samuels, Mark W. Morris (2001)

يقدم البحث طريقة جديدة لنمذجة الفتحة الناجمة عن الانهيار في السدود, حيث تعتمد على المبادئ الأساسية في الهيدروليك و حركة الرسوبيات وميكانيك التربة، حيث تم حساب العرض العلوي للفتحة في الطريقة الجديدة اعتمادا على مبدأ slope stability. تم إجراءالتجارب بهدف التحقق من الطريقة الجديدة.

توصل البحث إلى تطوير أداة جديدة لنمذجة انهيار السدود وتقديم منهجية جديدة مقبولة وواقعية لنمذجة انهيار السدود المتجانسة غير المتماسكة، حيث تغلب على بعض أوجه القصور في النماذج السابقة مثل:

- افتراض ثابت لشكل الانهيار والميل الجانبي لفتحة الانهيار في جميع مراحل المحاكاة
- افتراض تآكل موحد على الجانبين وأسفل فتحة الانهيار
- افتراض عملية تآكل مستمر

النموذج الجديد يوفر تحسين في دقة المحاكاة وهو سهل الاستعمال،مع وجود واجهة رسومية لمعالجة البيانات، وتحليل النتائج.

1-7-9 تقدير المخاطر الناتجة عن انهيار السد والاعتبارات العملية في اسباب الانهيار [43]

Peter Hill, David Bowles, Phillip Jordan and Rory Nathan(2003)

يهدف البحث إلى تحديد متطلبات تقدير الاحتمالات في تحليل مخاطر أمان السد من أجل تعيين المخاطر المرتبطة بسد موجود ومن أجل تبرير التعديلات. إن الطريقة المتبعة في حساب احتمالات الانهيار في نموذج تحليل المخاطر يمكن أن يكون له تأثير هام في قيمة المدخلات المفتاحية للقرارات المتعلقة بتطوير أمان السدود، إن تجاهل التعديل على الأنماط العامة المسببة للانهيار يمكن أن يؤدي إلى تقديرات عالية للاحتمال الكلي المتوقع للانهيار وزيادة كبيرة في خسارة الأرواح.

تبين من الدراسة أن أساس قواعد المخاطر يرتبط بالاحتمال الكلي لانهيار السد أو الخسارة في الأرواح ولذلك يحتاج هذا الأمر جمع الاحتمالات المتناسبة من مختلف أنماط الانهيار ومختلف مقاطع السد.

من الأمثلة عن الأنماط العامة المسببة للانهيار كحدوث أنماط مختلفة للانهيار في وقت واحد في مقطع واحد من السد نتيجة لحدث وحيد, أو أنماط الانهيار التي يمكن أن تحدث في وقت واحد في مقاطع مختلفة من السد نتيجة لحدث وحيد.

تؤمن نظرية The Uni-Modal Bounds Theorem طريقة لتعديل الاحتمالات الظرفية لأنماط الانهيار الغير مستقلة عن بعضها، يجب أن تجرى هذه التعديلات في آن واحد على كل المقاطع في السد، كما يجب أن تحسب وتطبق بشكل منفرد لكل فترة احتمالية حسب حمولة السد.

من المهم اختيار طريقة جمع الاحتمالات التي تعكس الظروف الفيزيائية للنظام الذي تتم محاكاته. في بعض المواقع، من الممكن استخدام نمط انهيار واحد مهيمن يطغى على الأنماط الأخرى الناتجة عن السبب نفسه، إن استخدام احتمال النمط المهيمن يكون مناسب عند حدوث فتحة في مقطع ما من السد تتطور بشكل سريع بحيث تسبب توقف تطور باقي الفتحات نتيجة لانخفاض منسوب البحيرة.

1-7-10 التقنيات الحديثة لتقدير معاملات فتحات الانهيار في جسم السد ونمذجة هذه الفتحات [49]

Sanjay S. Chauhan, David S. Bowles and Loren R. Anderson (2004)

يهدف البحث إلى تقديم بعض المعلومات عن النماذج التجريبية وبعض القواعد لتقدير معاملات الانهيار، وكذلك طرق تجريبية لتقدير الجريان الأعظمي من فتحة السد، وتحديد زمن انتقال الموجة الفيضانية من أجل تجهيز خطة طوارئ تستخدم كأساس في تقدير العواقب الناتجة عن انهيار السد.

ويقدم أيضاً دراسة حالة لتوضيح الاختلاف بين التدفق الأعظمي من الفتحات المحددة من خلال استخدام معاملات الانهيار المستخرجة من نماذج تجريبية، وبين التدفق الأعظمي المقدر اعتماداً على البيانات التاريخية لانهيار السدود.

تبين من الدراسة أن حجم الفتحة وزمن تشكلها يعتمد على نوع السد، الأبعاد الهندسية له, طبوغرافية أساسات السد والمنطقة المحيطة به, خواص المواد المشكلة للسد, ارتفاع السد وحجم التخزين عند الانهيار.

وتم تقديم بعض الاقتراحات لاختيار معاملات أكثر واقعية صالحة للاستخدام في نمذجة الانهيار، منها ضرورة التوسع في دراسة عدم الدقة الخاص بتقدير معاملات الانهيار من طريقة Froehlich، وتحديد مجموعة بيانات تغطي مجال أوسع من خصائص السد والبحيرة كأساس للحصول على علاقات تنبؤية قابلة للتطبيق، وبالتالي يمكن القول أنه لابد من فهم أفضل للآلية الفيزيائية لانهيار السدود وتطور فتحة الانهيار ضمنها، وذلك لتأمين أساس للحصول على طريقة فيزيائية لتحديد سلوك حدوث فتحة الانهيار.

1-7-11 تقييم المخاطر نتيجة انهيار السد وإيجاد حلول لتخفيف آثار الفيضانات [35]

Migena ZAGONJOLLI (2007)

يهدف البحث إلى دراسة واستكشاف تقنيات نمذجة السدود وانهيارها، وكذلك وضع منهج لتقييم الأخطار الناجمة عن الانهيار باستخدام نموذج انهيار جديد (BREADA) هو لمحاكاة الانهيار التدريجي لهيكل السد الذي يعتمد على منسوب التخزين وحجم التخزين خلف السد .

تم دراسة حدث انهيار إفتراضي لسد Bovilla في ألبانيا، فكانت نتائج البحث: إن استخدام النموذج يمكن الباحث من تقييم العديد من سيناريوهات الانهيار في فترة قصيرة جدا من الزمن وتحديد أكثر السيناريوهات الممكنة الحدوث، باستخدام نهج المحاكاة الهيدروديناميكية، وبهذه الطريقة يتم تقليل وقت الحسابات إلى حد كبير مع التركيز على الخيارات الأكثر جدوى، وتحديد قيمة الموجة الفيضانية الواصلة إلى فلوريدا (اقصى ارتفاع لها وزمن وصولها) واتخاذ إجراءات الحماية اللازمة.

1-7-12 خطة طوارئ في حالة انهيار السد [21]

Charles G. Goodman Jr- Denton (2007)

الهدف من هذا البحث هو تحديد المخاطر المحتملة في حالة انهيار السد والتعرف على مكونات مخطط الاستجابة (خطة الطوارئ) الفعال لانهيار سد ووضع توصيات لتطوير مثل هذا المخطط.

يحاول الباحث في هذا البحث الإجابة عن التساؤلات التالية:

- هل هناك مخاطر كبيرة من انهيار سد بحيرة Ray Roberts ؟
- ما هي الإجراءات المعيارية لوضع خطة طوارئ في حالة انهيار السد؟
- ما هي توصيات خطة الطوارئ لانهيار السد المقترحة من قبل مكتب إدارة الطوارئ في Denton ؟
- ما هي الإجراءات المطلوبة من قبل الأقسام الأخرى في مقاطعة Denton في خطة الطوارئ؟

كشف البحث عن وجود مخاطر من انهيار سد بحيرة Lake Ray Roberts ، حيث بينت جولوجية المنطقة عن وجود خطر للهزات الأرضية التي قد تؤدي لانهيار السد. تم الحصول على معلومات قيمة وهامة يمكن البدء بها في تطوير خطة طوارئ انهيار السد.

تم استخدام طريقة بحث وصفية للتعرف على المخاطر لوصف نوع المخطط المطلوب، تم اجراء دراسة مرجعية للتعرف على المخاطر ومخططات الاستجابة لانهيار السدود السابقة، تم جمع المعلومات للتعرف على الإجراءات المتخذة لمواجهة المخاطر في المقاطعات المجاورة.

توصل البحث إلى النتائج والتوصيات التالية:

التواصل مع جمعية المهندسين الأمريكيين (the US Army Corp of Engineers) واستخدام معلوماتهم لتطوير خطة طوارئ في حالة انهيار السد.

يجب أن تتضمن خطة الطوارئ على: نظام انذار مبكر, وسائل إخلاء السكان المعرضين للخطر، مخطط للتبليغ، اجراء تدريب على حدوث الكارثة لاختبار خطة الطوارئ المقترحة.

1-7-13 تقييم المخاطر في حالة انهيار سد في وادي Baker in Chilean Patagonia [24]

Elisabetta Natale, (2009)

يهدف البحث إلى دراسة وتقييم المخاطر الناجمة عن حادثة انهيار افتراضي لسد، حيث قامت شركة HidroAysén في منطقة Chilean Patagonia، باقترح مشروع لتوليد الطاقة الكهرومائية، وكان المشروع تركيب خمسة محطات لتوليد الطاقة الكهرومائية، وهما 2 على Rio Baker وثلاثة في Rio Pascua ، ولكن المشروع كان يفتقر لتقييم الأثار الناجمة عن انهيار السد، لذلك تم إجراء البحث لتقييم للمخاطر في حالة انهيار السد الذي يقع في وادي Baker ،الذي يشكل مصدر قلق على مدينة Caleta Tortel في حالة حصول فيضانات غير متوقعة ناتجة عن انهيار للسد.

تمت الدراسة باستخدام (ORSA) برنامج تم تطويره من قبل التعاون البحثي بين جامعة بافيا وجامعة روما حيث تم تنفيذ نموذج رياضي لمحاكاة انتشار الموجات الفيضانية وفق سيناريو انهيار السد، فكانت النتائج تحديد المناطق المعرضة للفيضانات، وزمن وصول الفيضان إليها باستخدام نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لمنطقة الدراسة.

1-7-14 دراسة سلوك الموجة الفيضانية في الأنهار باستخدام النماذج الرياضية [42]

Patrícia Freire Chagas, Silvia Helena Santos, Carla Andrade (2010)

يهدف هذا البحث إلى تطوير وتطبيق نموذج رياضي، لدراسة سلوك انتشار الموجة الفيضانية في الأنهار الطبيعية استنادا إلى المعادلات الهيدروديناميكية Saint–Veaant ، يقوم هذا النموذج بحل المعادلات التفاضلية الجزئية بالاستعانة بطريقة الفروقات المحدودة، وحل المعادلات الجبرية غير الخطية التكرارية

باستخدام خوارزمية نيوتن رافسون. أما من أجل تنفيذ عمليات المحاكاة فيستخدم برنامج حاسوبي QUARIGUA (التحليل الكمي لخطر الفيضانات في أنهار المناطق السكانية).

دُرست عدة سيناريوهات للقناة الرئيسية بشدات مختلفة [42].

فكانت أهم النتائج التي تم الحصول عليها من هذه المحاكاة:

- التعرف على كيفية تقدم الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار مع الزمن، والعوامل المؤثرة على سلوك انتشار الموجة
- إظهار التأثير الكبير لكل من ميل سرير النهر ومعامل خشونته على سلوك انتشار موجة الفيضانات.

حيث تم تغيير ميل سرير النهر مع تثبيت الشروط الابتدائية والحدية، ثم ثُبِت ميل سرير النهر وكان التغيير في معامل خشونة النهر مع تثبيت الشروط الابتدائية والحدية.

فتبين أن أكبر موجة فيضانية ستحدث عند الميل الأصغر وعند قيم الخشونة الأصغر.

1-7-15 تحليل انهيار السدود باستخدام برنامج hec ras [57]

Yi (Frank) Xiong , Mississippi State University, (2011)

يهدف البحث إلى وصف حالة انهيار السد والعوامل المؤثرة بالانهيار وتحديد قيمة الموجة الفيضانية الناتجة عن انهيار السد وتحديد مساحات الغمر الناتجة عن الانهيار وبالتالي تحديد قيمة الاضرار الناتجة باستخدام النماذج الرياضية الخاصة بدراسة الانهيار مثل برنامجHEC RAS (برنامج تحليل نظام الجريان في النهر)، كمثال على ذلك تم دراسة فرضية انهيار سد (Foster Joseph Sayers) في ولاية Pennsylvania ، حيث تم تطبيق حالة انهيار السد ومحاكاة الانهيار باستخدام برنامج HEC-RAS وعلى اعتبار أن الانهيار من نوع piping، حيث تم دراسة عدة سيناريوهات للانهيار وحساب ارتفاع الغمر وزمن وصول الموجة إلى المناطق خلف السد حيث تبين زيادة ارتفاع منسوب الماء في الحوز السفلي للسد لفترة طويلة وبالتالي زيادة مدة الخطر خلف السد.

فتوصل الباحث إلى أن انهيار السد هو عملية معقدة وشاملة وآلية الانهيار الفعلية غير مفهومة بشكل جيد، حيث أن النماذج الفيزيائية القائمة والنماذج الرياضية لم تتمكن من تفسير آليات انهيار السد بشكل واضح.

وبدراسة تأثير معاملات انهيار السد والشروط الحدية بما في ذلك التدفق المائي للمفيض وارتفاع فتح البوابة تبين أن ليس لها تأثير كبير على ارتفاع منسوب الماء خلف السد.

1-7-16 الدراسة الهيدروديناميكية لنمذجة انهيار سد ترابي (Saddle Dam) [33]

L.Y. Sidek, F.C. Ros, N.N.N. Ibrahim, A.Z.A. Razad, M.N. Ahmad (2011)

في هذه الدراسة تم نمذجة انهيار سد (Saddle Dam) في بحيرة (Kenyir) في ماليزيا، الهدف الرئيسي للدراسة هو دراسة خصائص فتحة الانهيار الافتراضي وتحديد مخططات الغمر نتيجة تطور الفتحة. تم افتراض

سيناريوهين للانهيار الأول الانهيار الموافق للفيضان الأعظمي الوارد للبحيرة (PMF), والثاني هو الانهيار الموافق للفيضان التصميمي (CDF).

تم حساب بارامترات الفتحة باستخدام معادلات (Froehlich and Macdonald–Langridge Monopolis).

أما النمذجة فكانت باستخدام النموذج (Mike II 1-D) الذي وضعه المعهد الدانمركي للهيدروليك (DHI).

من المعادلات تبين أن الفتحة الممكن حدوثها نتيجة الانهيار هي بشكل شبه منحرف تحتاج من (5-17 hour) لحدوث الفتحة الكاملة، تم اعتماد 5 hour لأن مواد السد متجانسة وتتآكل بسرعة كبيرة، ارتفاع الفتحة 110 m وبعرض من الأسفل (599m-644 m) وميل الجوانب (m=1) استخدمت هذه البارمترات في نموذج محاكاة الانهيار الافتراضي للسد (Mike II 1-D) فكانت قيمة التدفق الأعظمي الناجم عن الانهيار في السيناريو الأول ($Q=208.5\ m^3/S$) بينما كان التدفق الأعظمي في السيناريو الثاني ($Q=152.13\ m^3/S$) هذه النتائج مهمة لتقدير حجم الأضرار والخسائر في الأرواح وبالتالي التخفيف منها بوضع خطة طوارئ في حالة انهيار السد.

1-7-17 دراسة الفيضانات ومحاكاة انهيار السد في Tangjiashan الناجم عن زلزال 2008

[23] Dr. C.J. van Westen , Dr. D. Alkema, 2012

وقع زلزال Wenchuan في (2008) في الصين، وقد يتسبب هذا الزلزال المدمر بانهيار عدد من السدود فيما بينها، والأكثر خطورة هو سد Tangjiashan حجم التخزين خلفه ($3.1*10^8\ m^3$) ويشكل تهديدا خطيرا لـ 2.5 مليون شخص في خمس مدن وثاني أكبر مدينة (Mianyang) في اتجاه مجرى النهر.، قامت الحكومة الصينية بحفر مفيض لتصريف مياه البحيرة من أجل السيطرة على الفيضان في حال حصوله.

تهدف هذه الدراسة إلى محاكاة انهيار سد Tangjiashan وفق عدد من السيناريوهات، لتحقيق هذا الهدف تم الدمج بين النموذجين (BREACH model and SOBEK 1D-2D model)، حيث أن نموذج (BREACH) يستخدم لمحاكاة عملية انهيار السد، ويحدد شكل الانهيار وأبعاد فتحة الانهيار وكمية التدفق الفيضاني الناجم عن الانهيار، تمت معايرة النموذج (BREACH) من الملاحظات والنتائج المآخوذة نتيجة فيضان عام 2008، حيث تبين أن نتائج النموذج تتفق تماما مع نتائج فيضان 2008.

ثم يتم استخدام التدفق الفيضاني الناتج عن الانهيار الافتراضي من نموذج (BREACH) ليكون من المدخلات إلى نموذج (SOBEK 1D-2D model) لحساب قيمة التدفق الفيضاني الواصل إلى المناطق خلف السد وزمن وصوله.

تم دراسة خمس سيناريوهات: تدفق فيضاني في البحيرة بتكرار 2 سنة، تدفق فيضاني في البحيرة بتكرار 5 سنة، تدفق فيضاني في البحيرة بتكرار 20 سنة، والتدفق الحقيقي الذي حصل في يونيو 2008 بوجود المفيض، والسيناريو الكارثي وهو انهيار كامل للسد.

وتظهر نتائج المحاكاة أن وجود المفيض لعب دورا هاما في الحد من الفيضانات وتأجيل وصول التدفق الفيضاني الأعظمي، أما السيناريوهات الأخرى فقد تسبب كل منها الفيضان إلى المناطق خلف السد بدرجات

مختلفة. أما السيناريو الخامس الأكثر كارثية سوف يتسبب بتدفق فيضاني في مدينة Mianyang بقيمة $30000\ m^3/S$، وهو أعلى بكثير من قدرة تحمل المدينة للفيضان وهو بحدود $12000\ m^3/S$.

1-7-18 نمذجة انهيار السدود الكبيرة الترابية و الركامية [50]

Saqib Ehsan, and Walter Marx(2014)

تهدف الدراسة إلى نمذجة انهيار السدود الكبيرة جدا، حيث تم اختيار سد Mangla المتوضع على نهر Jhelum في باكستان، يبلغ ارتفاع السد 125 m مما يجعله واحدا من أكبر السدود الركامية في العالم، تم دراسة انهيار السد نتيجة انسكاب الماء من أعلى السد (overtopping) باستخدام نموذج (MIKE 11 dam break module) . تم استخدام هذا النموذج لتحديد التدفق الناجم عن الانهيار، حيث تم دراسة عدة حالات لتطور الفتحة، كما تم حساب مخططات الغمر نتيجة كل حالة والزمن اللازم للانهيار. تم تحديد الحالة الأخطر للانهيار حيث بلغت قيمة التدفق الفيضاني نتيجة الانهيار ($160000\ m^3/s$) وهي تساوي (2.5) ضعف التدفق الفيضاني التصميمي للسد.

الفصل الثاني

1 – توصيف المنطقة المدروسة

2 – إنشاء نموذج لمنطقة الدراسة

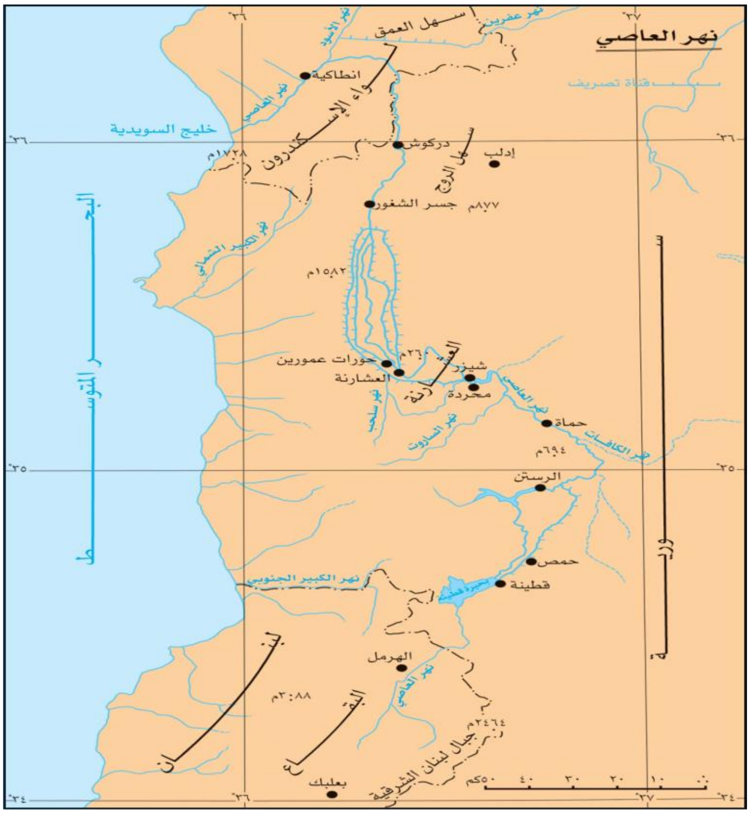
3 – معايرة النموذج

2-1 أهمية حوض العاصي:

يتميز حوض العاصي بموقعه الجغرافي في القطر العربي السوري، ويمتاز بخصوبة تربته وكثافة سكانه حيث يعيش على أرضه (2763500) نسمة، وتبلغ مساحته ($21624\ km^2$) أي ما يعادل (11,7%) من مساحة القطر العربي السوري، وتشكل موارده المائية السنوية (2,454 مليار $م^3$)، ينتج الحوض حوالي (24%) من منتجات القطر الزراعية و(16%) من المنتجات الصناعية، تمتاز المنطقة بزراعة القطن والشوندر كما تمتاز بالرعي وتربية الحيوان والخيول، وفي حماة منشأة لتصفية المياه [69].

2-1-1 نهر العاصي:

عرف العاصي باسم النهر المقلوب لجريانه من الجنوب إلى الشمال مخالفاً جريان الأنهار الأخرى. وعرف باسم العاصي، وهو الاسم الذي غلب عليه، لصعوبة استجرار المياه منه بدون النواعير، ولكونه يجري معاكساً لميل الطبقات الجيولوجية. وهو من أنهار الوادي الانهدامي في شمالي لبنان وسورية صورة (2-1)[69] .



صورة (2-1) نهر العاصي

➢ **منابعه:**

ينبع نهر العاصي من الأراضي اللبنانية، حيث هضبة بعلبك التي تشكّل أعاليها خط تقسيم المياه بين حوض العاصي شمالاً وحوض الليطاني جنوباً. ويحدد بعضهم بداية العاصي من نبع اللبوة، ولكن التحديد الأكثر استخداماً هو أن بدايته تبدأ بنبع (عين) الزرقاء إلى الجنوب من الهرمل بنحو عشرة كيلومترات، وتغذيته في منابعه هي تغذية مطرية بالدرجة الأولى وثلجية بالدرجة الثانية، حيث تتراكم الثلوج فوق جبال لبنان الشرقية في فصل الشتاء.

➢ **مجراه:**

يسير العاصي في الأراضي اللبنانية بعد منبعه في وجهة شمالية شرقية ضمن البقاع الشمالي مسافة نحو (46 km)، قبل أن يدخل الأراضي السورية، عند طاحونة العمرية، محوّلاً اتجاهه شمالاً مسافة نحو (20 km)، ليدخل بحيرة قطينة من طرفها الجنوبي الغربي، وليخرج من طرفها الشمالي الشرقي،منحدراً انحداراً لطيفاً باتجاه

الشمال الشرقي، ماراً إلى الغرب من مدينة حمص مباشرة، ومتجهاً بعدها شمالاً حتى الرستن، ليدخل بعدها أراضي محافظة حماة في اتجاه شمالي شرقي، ويعبر مدينة حماة في منتصفها، ويخرج من هضبة محردة عند الطرف الشمالي من شيزر، وينعطف غرباً بدخوله سهل العشارنة، وبعد بلدة العشارنة ينعطف مجراه باتجاه الشمال، وبعد تجاوزه بلدة دركوش يدخل أراضي لواء الاسكندرون عند حدوده الشرقية ليدخل سهل العمق، قبل طريق حلب. أنطاكية بنحو (8 km)، ولينعطف في السهل غرباً ومن ثم الجنوب الغربي ليمر في مدينة أنطاكية، ويصب في خليج السويدية باالبحر المتوسط.

يبلغ طول نهر العاصي الإجمالي نحو (571 km)، منها (525 km) في الأراضي السورية، التي يعبر فيها ثلاث محافظات (حمص وحماه وإدلب) ولواء الإسكندرون.

- **روافده:**

يرفد نهر العاصي في الأراضي السورية العديد من الأنهار ذات الجريان الموسمي، وبعض الأنهار الدائمة؛ فمن الروافد اليمينية: نهر أبو همامة، نهر الكافات، ونهر قسطون، إضافة إلى نهري عفرين والأسود اللذين يشكلان عند نهاية بحيرة العمق /التي جففت/ مجرى مائياً يدعى بالعاصي الصغير. ومن أهم الروافد اليسارية الأكثر عدداً والأوفر ماءً: نهر الساروت ونهر سلحب ونهر أبو قبيس ونهر البارد، والعديد من المجاري القصيرة لمياه الينابيع العديدة المتفجرة عند المقدمات الشرقية للجبال الساحلية.

- **غزارته:**

تتباين غزارة العاصي في قطاعاته المختلفة، فبينما هي بنحو $14\ m^3/S$ في قطاعه الأعلى قبل بحيرة قطينة، فإنها ترتفع إلى نحو $24\ m^3/S$ عند قرقور، وإلى نحو $87\ m^3/S$ عند أنطاكية. ويعود هذا التغير في العاصي على طول مجراه إلى كثرة الروافد النهرية والسيلية والعديد من الينابيع التي تغذيه على طول مجراه، والتي تتزايد في قطاعيه الأوسط والأدنى. ولأن تغذية العاصي مطرية عموماً، فإن غزارته القصوى تحدث شتاء.



صورة (2-2) مجرى نهر العاصي



صورة (2-3) نهر العاصي في مدينة حماة

➢ السدود المقامة على مجرى العاصي [58]

ضُبطت مياه نهر العاصي بإقامة ثلاثة سدود تخزينية كبيرة جدول (2−1)، الأول سد قطينة والثاني شمالي بلدة الرستن مباشرة ويعرف باسم سد الرستن، بالإضافة لسد محردة شمالي مدينة محردة صورة (2−4).

جدول (2−1) السدود المقامة على نهر العاصي ضمن منطقة الدراسة

اسم السد	المحافظة	تاريخ إنجاز السد	التخزين النظري للسد (10^6 m^3)	مساحة البحيرة (10^6 m^2)	نوع السد	ارتفاع السد (m)	طول السد (m)	هدف السد
قطينة	حمص	1939	200	60	ركامي	7	2000	ري
الرستن	حماه	1960	250	21	ركامي	67	382	ري + توليد طاقة
محردة	حماه	1962	49.4	4.5	ركامي	52	200	ري + توليد طاقة + درء الفيضانات







سد قطينة سد الرستن سد محردة

صورة (2−4) أهم السدود المقامة على مجرى العاصي

ومن أهم البحيرات على مجرى العاصي الأعلى إلى الجنوب الغربي من مدينة حمص بنحو (10 km) هي بحيرة قطينة صورة (2−5) وهي بحيرة طبيعية اصطناعية، تكونت بادئ الأمر خلف عتبة صخرية بازلتية، وأسهم الإنسان في زيادة اتساعها بتشييد سد قطينة على العتبة البازلتية، وتبلغ مساحة بحيرة قطينة $60\ km^2$ وتوفر البحيرة المياه لمعمل توليد الطاقة الحرارية ومصنع الأسمدة، وتصاد منها الأسماك المتنوعة، وقد أصبح موقعها متنزهاً ومركزاً سياحياً.

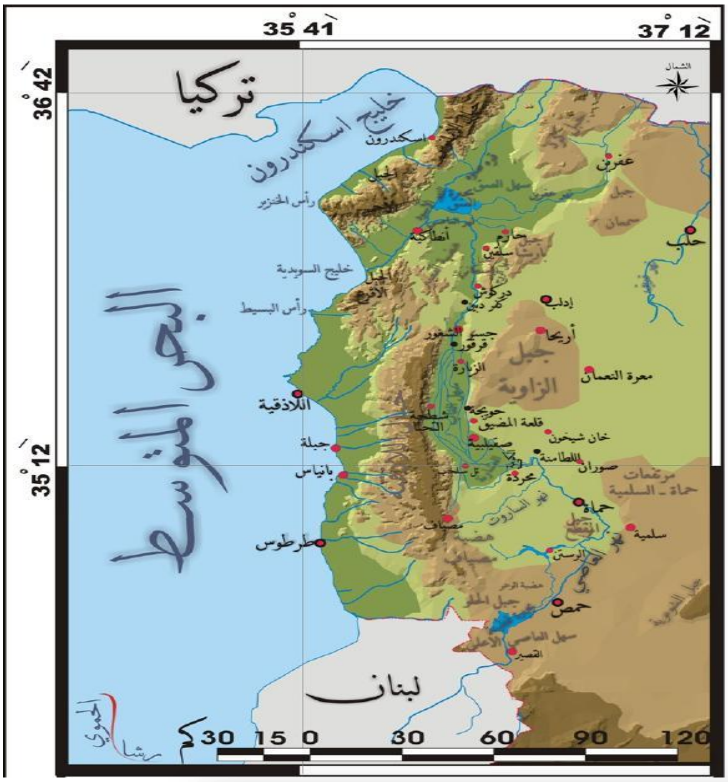


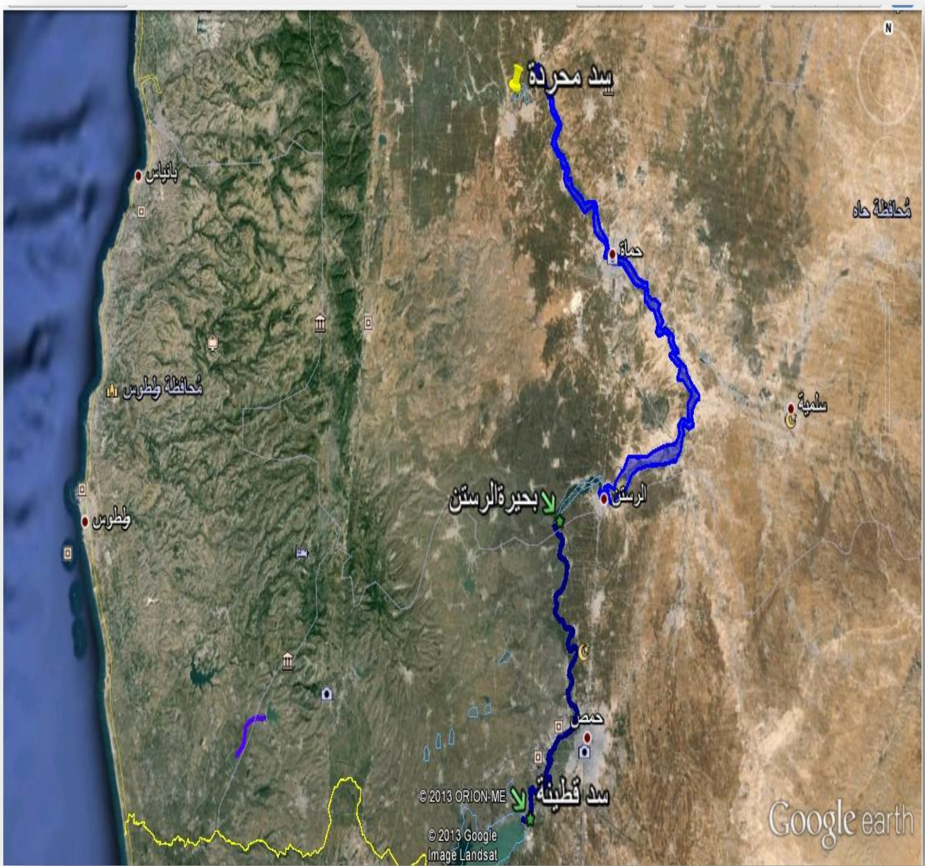
صورة (2−5) بحيرة قطينة

2 1 2 توصيف المنطقة المدروسة

المنطقة المدروسة هي جزء من حوض العاصي بين السدود (قطينة – الرستن – محردة) صورة (2–6)

تضم منطقة الدراسة محافظتي حمص وحماه، ومن خلالهما يمر نهر العاصي وتشترك هذه المنطقة في حددوها الإدارية مع قطرين عربيين هما العراق شرقا ولبنان غربا. كما تجاور محافظة ادلب شمالاً. ومحافظة ريف دمشق جنوباً.

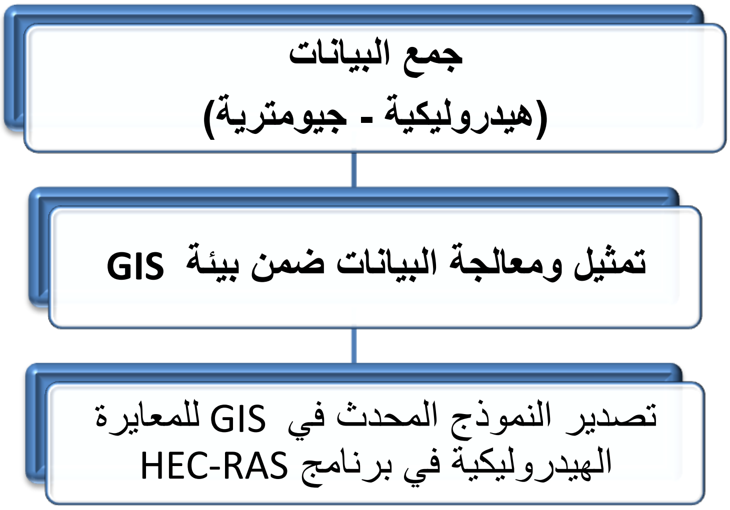




صورة (2–6) منطقة الدراسة

2 2 إنشاء نموذج للمنطقة المدروسة

سنعرض فيمايلي مخططاً صندوقياً لمراحل إنشاء نموذج لمنطقة الدراسة الشكل (2−1)



الشكل (2−1) مخطط صندوقي لمراحل النمذجة

2−2−1 طرائق جمع البيانات المطلوبة

تقسم البيانات المطلوبة لنمذجة النهر إلى فئتين: الهيدروليكية و الجيومترية (الهندسية).

- البيانات الهيدروليكية:

تضم البيانات الهيدروليكية العناصر الآتية:

1 −ارتفاع سطح الماء ضمن مجرى النهر ونحصل عليه من خلال القياس المباشر في محطات القياس المنتشرة على طول مجرى النهر.

2 −غزارة النهر وسرعة الجريان في النهر وتتم من خلال القياسات الدورية لها باستخدام أجهزة القياس المتوافرة من قبل الجهة المشرفة على استثمار النهر في محطات القياس المخصصة لذلك.

- البيانات الجيومترية:

تضم البيانات الجيومترية:

1 −طول النهر أو الجزء المراد نمذجته مع رسم واضح لمسار النهر يُبَين فيه جميع التعرجات والانحناءات التي يتعرض لها النهر في مساره.

2 −المقاطع العرضية التي ستُسقط على النموذج وتحديد التباعد بين المقاطع العرضية وتحديد المنشآت المقامة على النهر في هذه المقاطع (جسر، عبارة ، طاحونة ..)

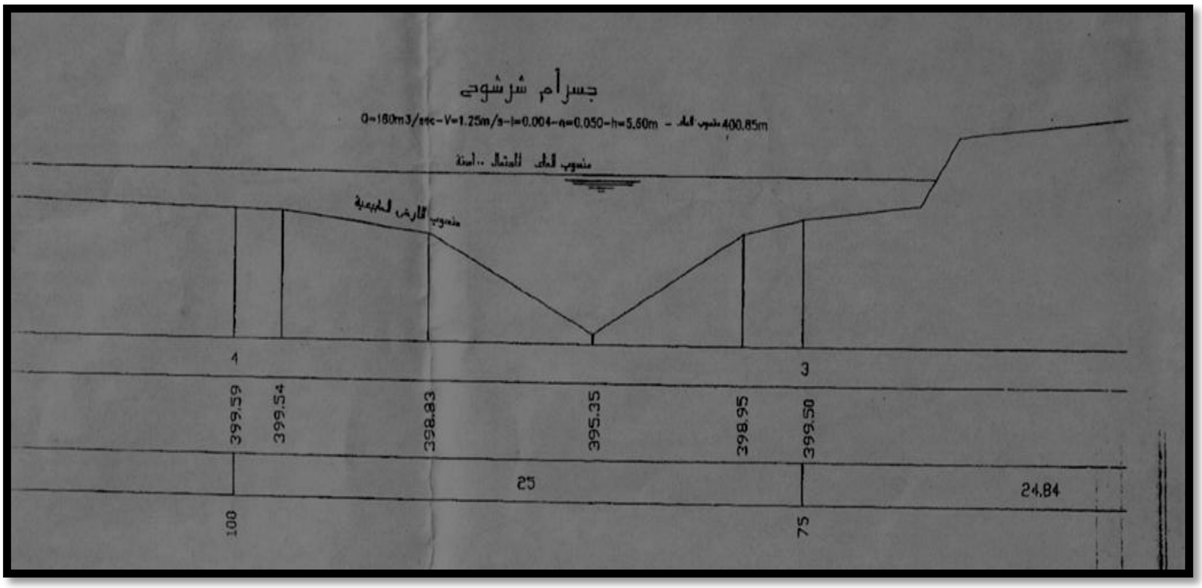
تم الحصول على البيانات المطلوبة (الهيدروليكية والجيومترية) بعدة أشكال منها:

- بيانات حقلية: من خلال زيارات ميدانية لموقع الدراسة وأخذ القياسات بشكل مباشر صورة (2−7)
    - قياسات لتحديد المقاطع العرضية للنهر
    - قياسات لتحديد عمق الماء والسرعة ضمن مجرى النهر.



صورة (2−7) الزيارات الميدانية لموقع الدراسة

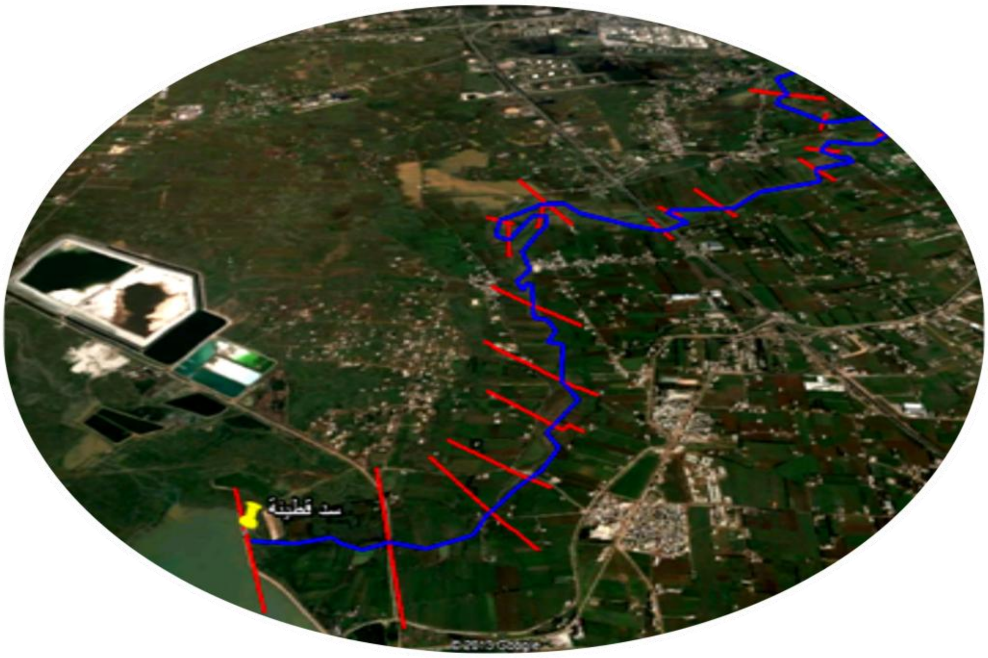
- بيانات ورقية: تمَّ الحصول عليها من قبل الجهات المسؤولة عن النهر والمنشآت المقامة عليه مثل المقاطع العرضية النظامية وقياسات العلاقة بين (Q,h) في محطات القياس حيث تكون هي الجهة المسؤولة عن أخذ هذه القياسات بشكل دوري ومستمر مثال الشكل (2−2) يبين مقطع عرضي نظامي لمنشأة (جسر أم شرشوح) على النهر.



شكل (2−2) مقطع عرضي نظامي عند جسر أم شرشوح

- <u>صور جوية:</u> يُستفاد من الصور الجوية لمنطقة الدراسة في تحديد مسار النهر وطوله وتعرجاته وميوله وتحديد أماكن المقاطع العرضية النظامية وأماكن المنشآت المقامة على النهر والتباعد بينها.

وهذا ما يظهر في الصورة (2–8) التي تبين مسار نهر العاصي وأماكن المقاطع العرضية النظامية.



صورة (2–8) صورة جوية لمنطقة الدراسة تبين النهر والمقاطع العرضية وبعدها عن سد قطينة

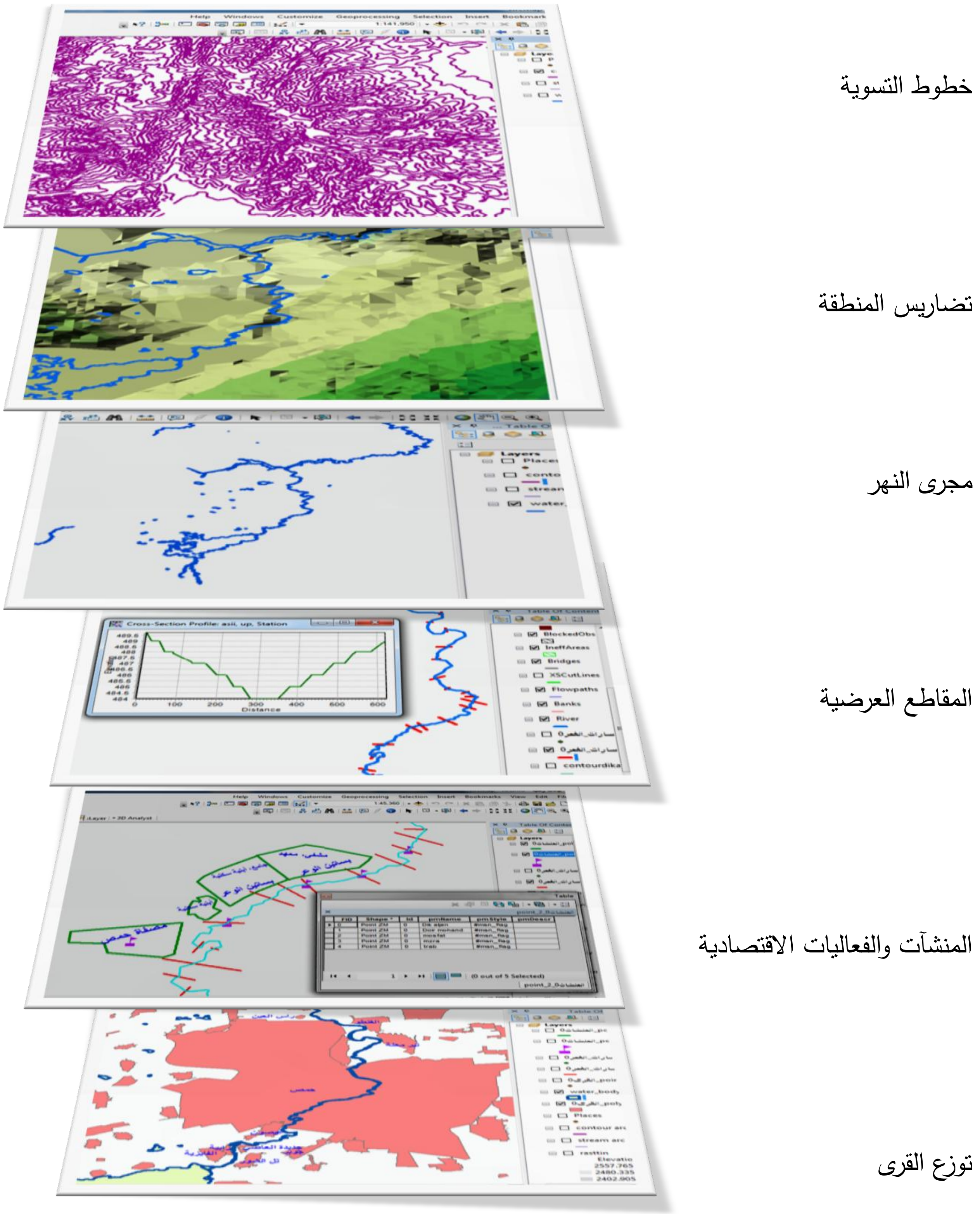
2–2–2 تمثيل البيانات ومعالجتها ضمن بيئة GIS

<u>**أولاً–**</u> تُمثّل البيانات وتُعالج البيانات ضمن بيئة GIS باستخدام أدوات التحليل المكاني والتحليل ثلاثي البعد وذلك وفق الخطوات الآتية:[9]

أ – استيراد كافة البيانات الجيومترية الخاصة بالمنطقة المدروسة.

ب – معالجة البيانات وتحويلها إلى الشكل الذي يتناسب مع بيئة GIS .

ج –حفظ البيانات المعالجة بشكل شرائح تمثل معلومات جغرافية مختلفة ومطابقتها مع بعضها الآخر كما هو موضح في الشكل (2–3).



الشكل(2–3) شرائح المعلومات الجغرافية في GIS

ثانياً: بناء قاعدة بيانات جغرافية لـلمنطقة المدروسة بحيث تضم:

1 –مقاطع عرضية في بحيرة السد، مقاطع عرضية تنفيذية في جسم السد.

2 –قاعدة بيانات جغرافية خاصة بالمقاطع العرضية لكافة المنشآت المقامة على النهر جدول (2 – 2) جدول (2 – 3) .

جدول (2 – 2) أهم المنشآت المقامة على النهر في المنطقة المدروسة

الرقم	اسم المنشأة	المنسوب عن سطح البحر (m)	بعده عن سد قطينة (km)	ملاحظات
1	جسر قطينة	491	0.66	يوجد محطة قياس
2	تحويلة حمص- دمشق-حماه	484	6.77	–
3	جسر حمص طرطوس \ المزرعة\	479	14.12	يوجد محطة قياس
4	جسر طرابلس	476	16.12	–
5	دوار المهندسين	477	17.42	–
6	ديك الجن	472	19.07	محطة قياس
7	جسر الدوير	458	21.37	محطة قياس
8	جسر الغنطو	435	30.0	حصلنا على مقاطع عرضية ورقية من الدراسات والاستشارات الفنية
9	جسر قنية	424	33.0	
10	جسر أم شرشوح	400	38.0	
11	جسر غرناطة	388	40.52	محطة قياس غجر أمير

جدول (2 – 3) مواصفات المنشآت المقامة على النهر في المنطقة المدروسة

رقم المنشأة	عرض المجرى	عرض الجسر	سماكة الجسر	عدد الفتحات	عرض الفتحة	ارتفاع الفتحة
1	30	12	1	1	–	–
2	26	12	1.6	1	–	–
3	31	8	1.5	1	–	–
4	24	25	1.5	1	–	–
5	16	19	1.5	1	–	–
6	13	22	1	4 مستطيلة	2	2.5
7	28	14	1.5	1	–	–
8	25	8	1.2	1	–	–
9	25	10	1.5	1	–	–
10	34	7	1.15	1	–	–
11	30	14	0.25	3	–	5

<u>ثالثاً:</u> معالجة البيانات الجيومترية والطبوغرافية لمنطقة الدراسة

استخدمت عملية الاستيفاء الطبوغرافي في GIS (إحداث مقاطع عرضية إضافية بين كل مقطعين مأخوذين في الواقع) من أجل الحصول على أكبر عدد من المقاطع أثناء نمذجة منطقة الدراسة وبالتالي نحصل على نموذج يحاكي الواقع بشكل كبير

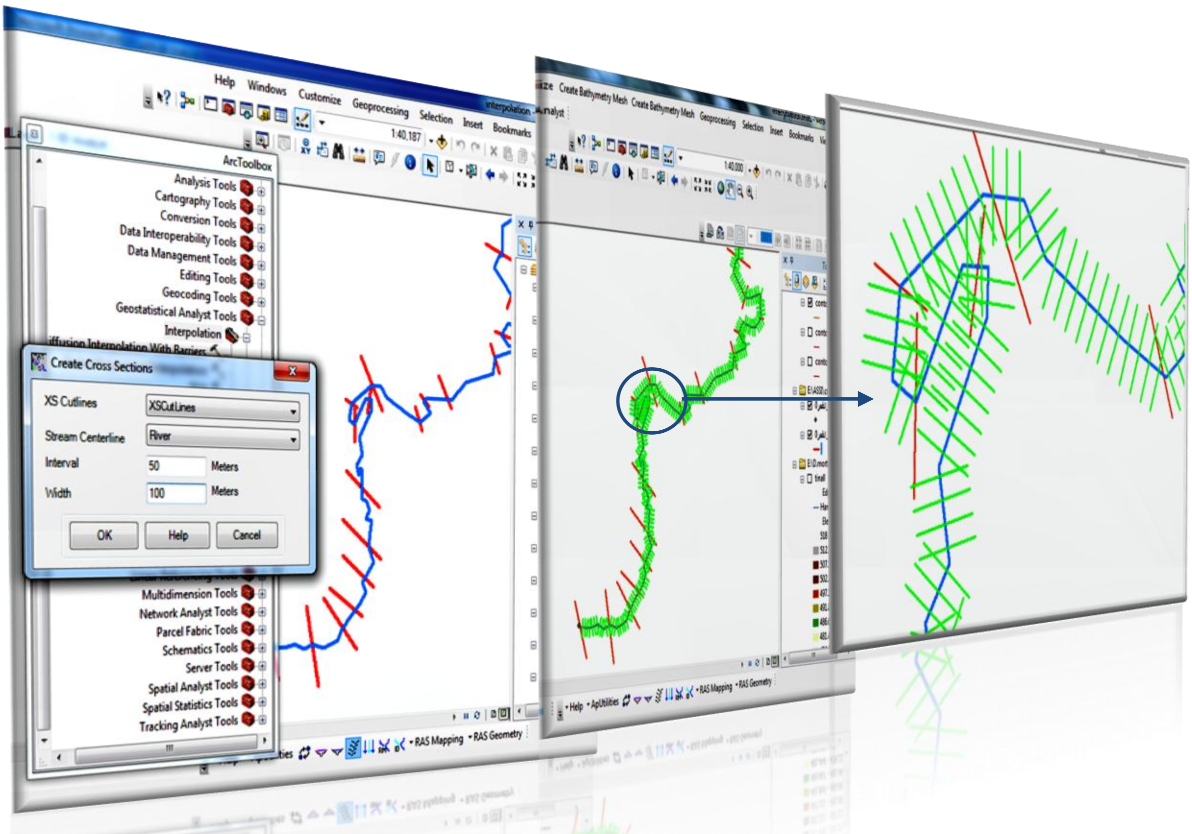
تستخدم عملية الاستيفاء الطبوغرافي (Interpolation) وفقاً لعدد من المعايير والشروط الخاصة بنظام الجريان للنهر حيث إنه لابد من تكثيف عدد المقاطع العرضية باستخدام الاستيفاء في الأماكن الآتية[46]:

1- أماكن الالتواء والتعرجات الكبيرة في مجرى النهر.

2- مناطق تغيّر الميل.

3- المناطق التي يتغير فيها المقطع العرضي لمجرى النهر بشكل كبير.

يوضح الشكل (2- 4) منطقة الدراسة بعد معالجة البيانات وتطبيق عملية الاستيفاء وبالتالي زيادة عدد المقاطع العرضية ضمن المنطقة المدروسة.



الشكل (2-4) مسقط أفقي لمنطقة الدراسة مدعم بعدد من المقاطع العرضية

2-2-3 معايرة النموذج

2 2 3 1 تصدير النموذج للمعايرة الهيدروليكية في برنامج HEC-RAS

يستخدم HEC-RAS[2] (برنامج تحلل الجريان في النهر ودراسة انهيار السدود) في:

1- دراسة الجريان في النهر في الحالة المستقرة (حالة الاستثمار) (Steady Flow).

2 - دراسة الجريان في النهر في حالة الفيضان الطبيعي والفيضان الناجم عن انهيار السد (Unsteady Flow)

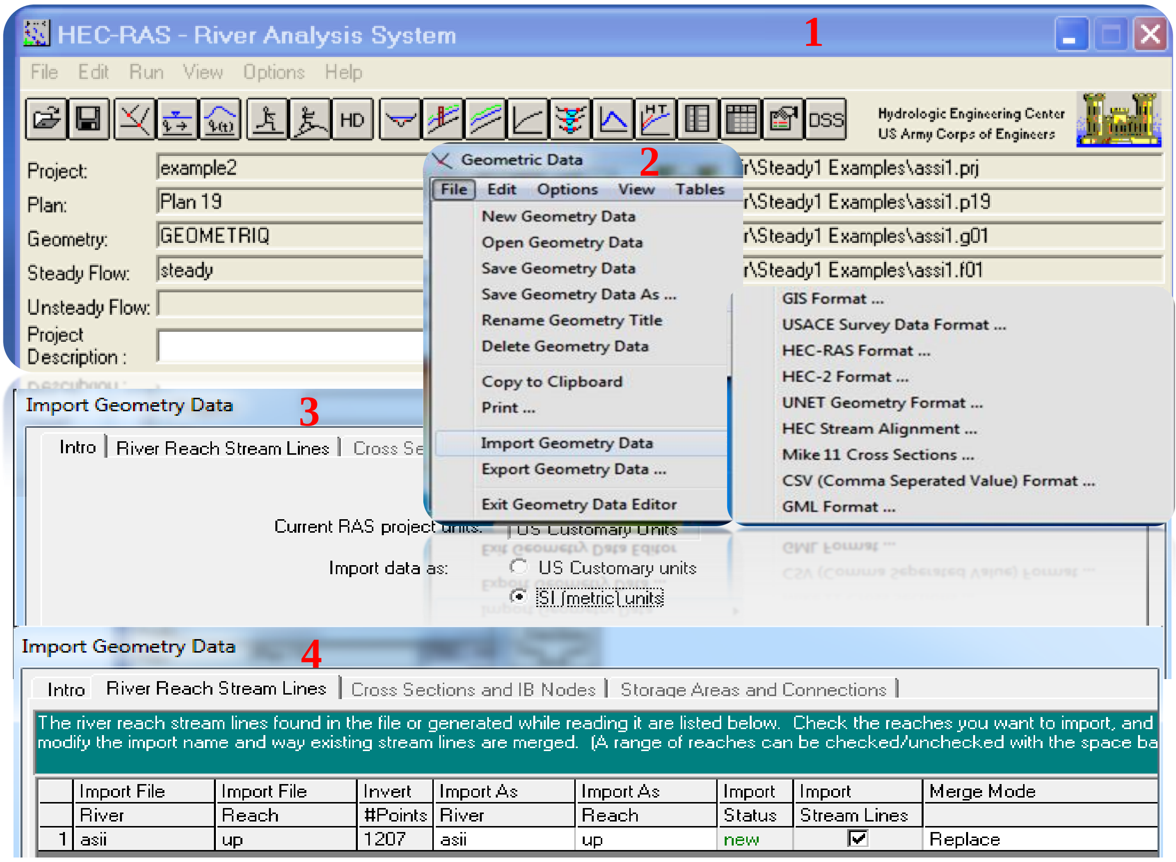
❖ بناء النموذج في HEC-RAS:

أولاً: استيراد البيانات الطبوغرافية لنموذج المنطقة المدروسة المعالج في بيئة GIS.

يوضح الشكل (2-5) مراحل استيراد نموذج منطقة الدراسة من GIS:

1 تحديد الواحدات المستخدمة في الدراسة (دولية، مترية)

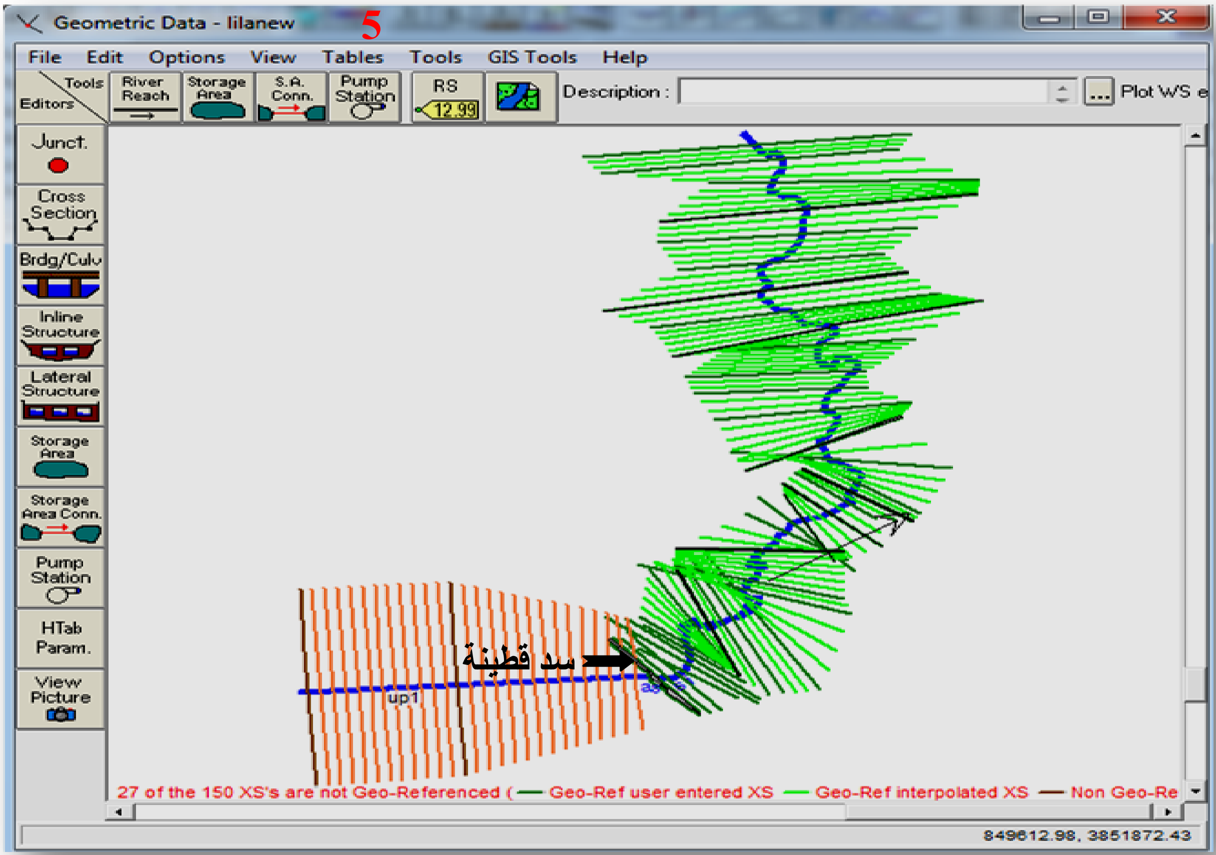
2 تحديد مسار النهر وروافده إن وجدت. 3- تحدد المقاطع العرضية وأسمائها رقمياً.



الشكل (2 -5) الواجهة الرئيسية لبرنامج HEC-RAS ومراحل استيراد النموذج

[2] HEC-RAS[2] (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System)

فنحصل على مسقط أفقي للنهر مع كافة مقاطعة النظامية والمُحدثة ضمن بيئة HEC-RAS الشكل (2-6)



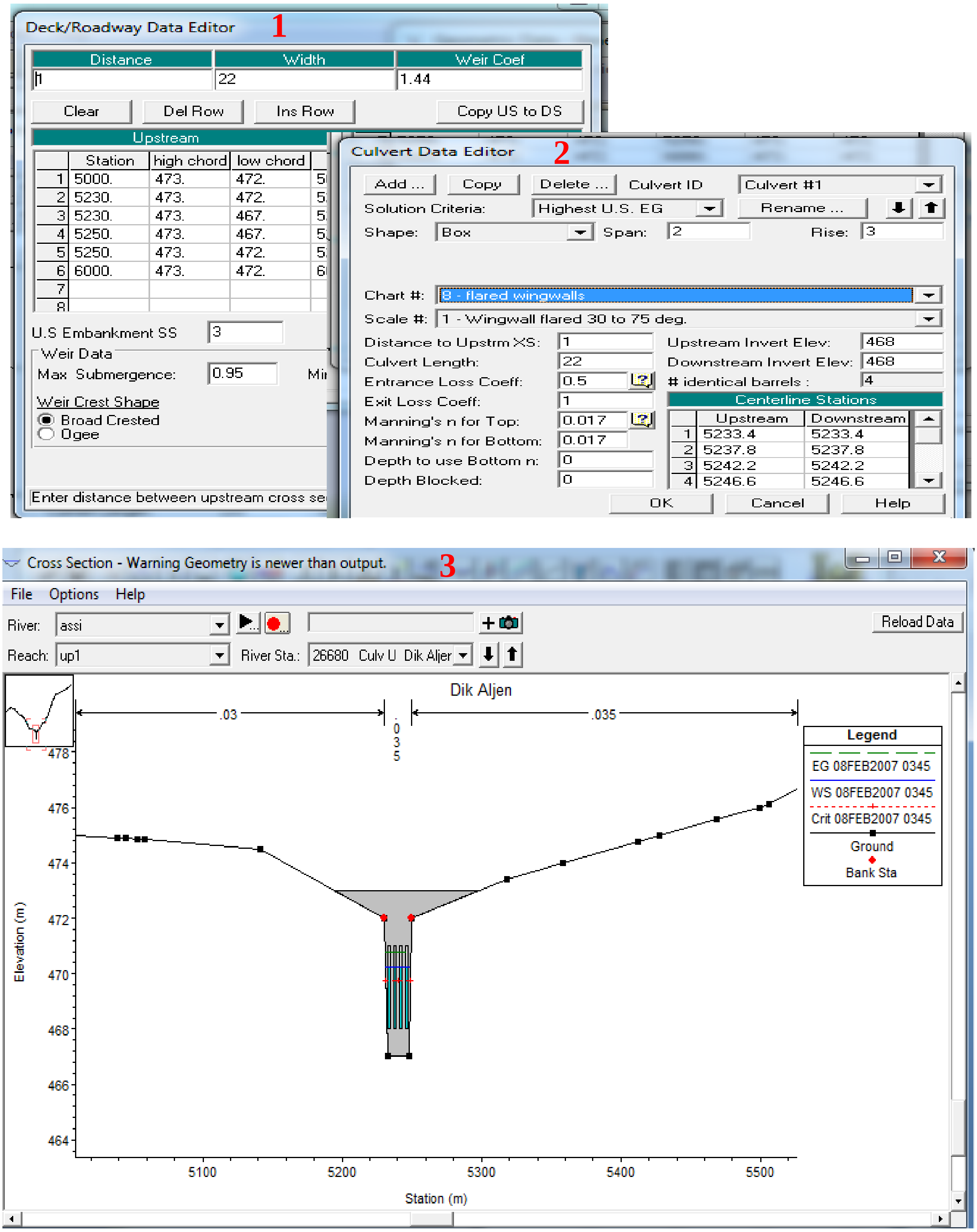
الشكل (2-6) مسقط المنطقة المدروسة مع كافة المقاطع في برنامج HEC-RAS

ثانياً: إدخال البيانات الهندسية لجميع المنشآت المقامة على النهر (جسر – عبارة- سد ...)

يجب إدخال مواصفات جميع المنشآت المقامة على النهر ضمن منطقة الدراسة كما وردت في جدول (2-3) مثال منشأة ديك الجن صورة (2-9) تحتوي أربع فتحات يتم إدخال البيانات كما في الشكل (2-7)



صورة (2- 9) منشأة ديك الجن



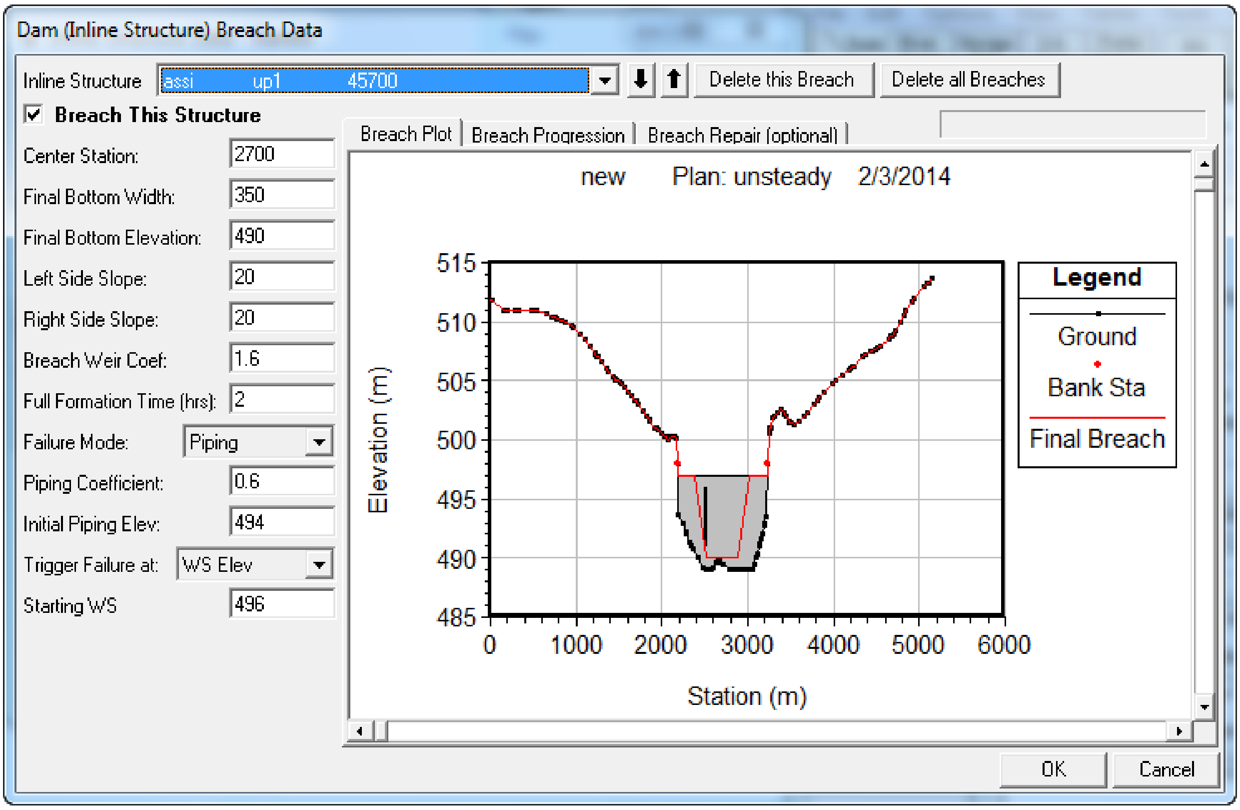
الشكل (2-7) مقطع عرضي في منشأة ديك الجن وطريقة إدخال البيانات الخاصة بالمنشأة

ثالثاً: إدخال البيانات الخاصة بالانهيار الافتراضي للسد

الفرضيات الخاصة بالانهيار الافتراضي للسد

- تحديد موقع الخرق في السد ومركزه.
- تحديد شكل الخرق (مستطيل شبه منحرف ..).
- تحديد الزمن اللازم لتشكل الفتحة الكاملة.
- تحديد نوع الانهيار (Piping,Overtopping).
- تحديد موقع (منسوب) الثغرة التي تؤدي إلى الفتحة الكاملة .
- تحديد منسوب الماء أمام السد عند بداية تشكل الثغرة.

يبين الشكل (2-8) جميع البيانات الخاصة بالانهيار الافتراضي لسد قطينة وهذه البيانات هي فرضيات يتم وضعها بالاستعانة ببرامج خاصة بالسدود تعطينا نوع الانهيار و شكله وأبعاد فتحة الانهيار تبعاً لارتفاع السد وحجم التخزين والتركيب الحبّي للسد.



الشكل (2-8) الفرضيات الخاصة بالانهيار الافتراضي للسد

رابعاً: إدخال بيانات التدفق والشروط الحدية للجريان المستقر (Steady Flow)

بيانات التدفق:

- يجب إدخال قيمة تدفق النهر في المقطع الأول للنموذج، ويمكن تغيير التدفق في أي مكان داخل منظومة النهر كما في الشكل (2−9).
- يجب إدخال قيم التدفق لجميع التفرعات الجانبية في النهر إن وجدت.

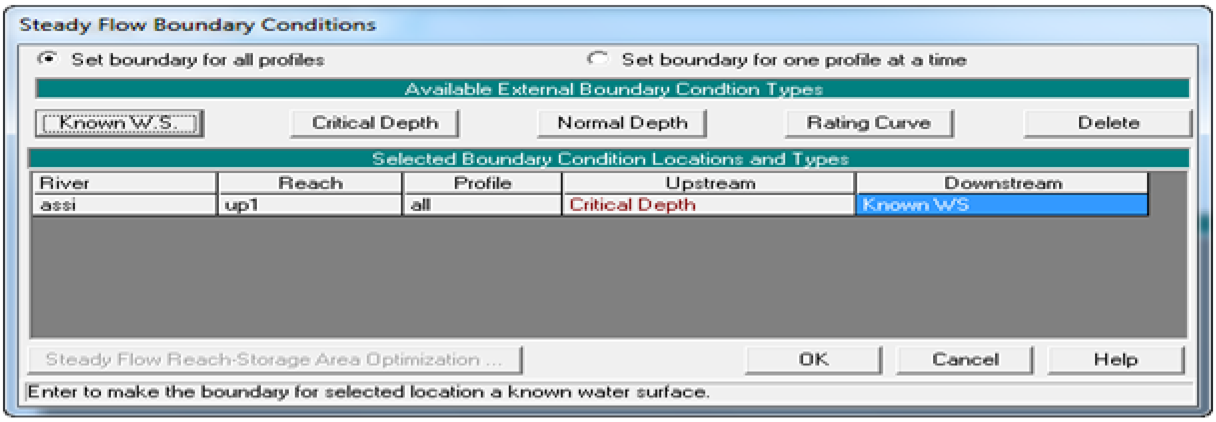


الشكل (2−9) بيانات التدفق للجريان المستقر

الشروط الحدية:

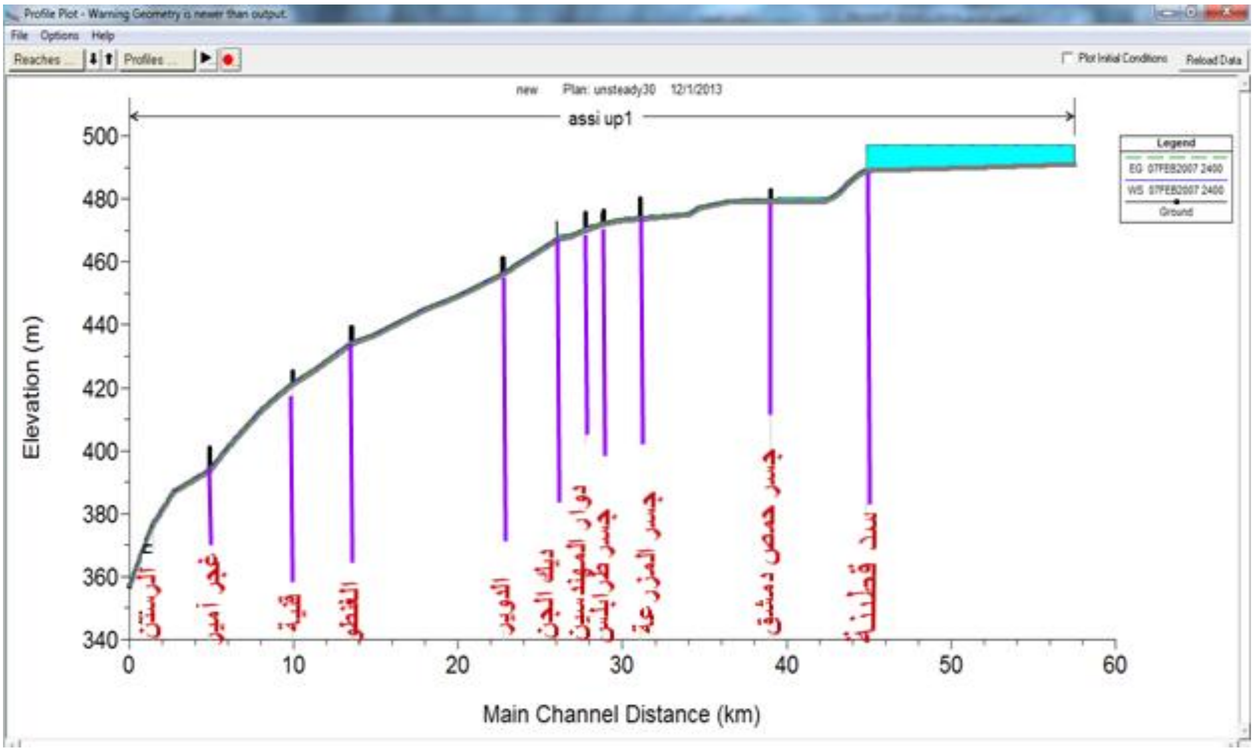
لابد من إدخال الشروط الحدية من أجل أداء العمليات الحسابية للمنبع والمصب كما في الشكل (2−10).

- إدخال نوع الجريان إذا كان معلوماً (فوق حرج ، دون حرج، نظامي، مختلط).
- إدخال ارتفاع الماء في النهر الموافق لقيمة التدفق المدخلة (في المنبع أو المصب)إذا كان معلوماً.

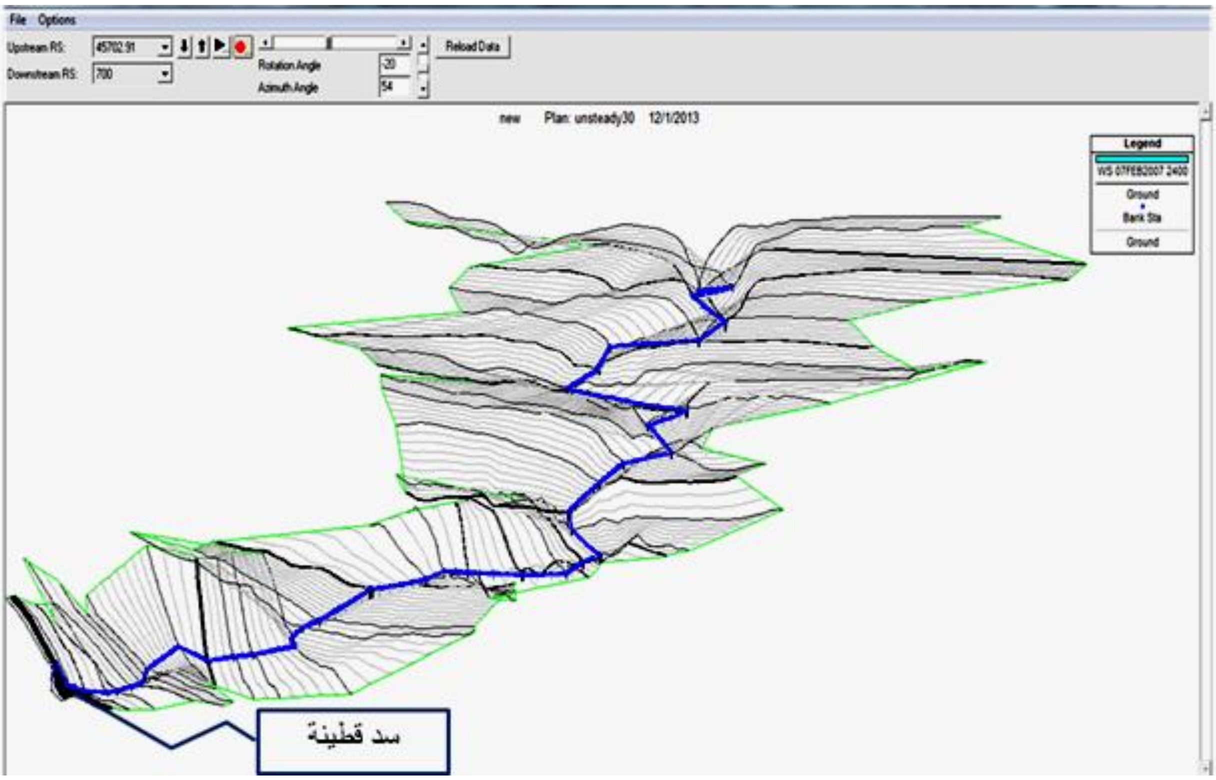


الشكل (2−10) الشروط الحدية للجريان المستقر

بعد إنهاء مراحل بناء النموذج وإدخال كافة البيانات المطلوبة ومعالجتها بشكل صحيح ودقيق نحصل على مقطع طولي لمنطقة الدراسة يوضح جميع المنشآت المقامة على مجرى النهر الشكل (2−11)، ومسقط ثلاثي البعد للمنطقة كما في الشكل (2−12).



الشكل (2−11) مقطع طولي للمنطقة المدروسة موضح عليه كافة المنشآت المهمة



الشكل (2−12) مسقط ثلاثي البعد لمنطقة الدراسة

2-2-3-2 أهم العوامل المؤثرة على دقة النموذج

تتم المعايرة بإجراء الحسابات الهيدروليكية (حالة الجريان المستقر) على النموذج، عند قيم تدفقات مختلفة، فنحصل على ارتفاع الماء الموافق لقيم التدفقات المختلفة في كل محطة قياس ضمن منطقة الدراسة. ثم نقارن هذه القيم المحسوبة بقيم مقاسة في محطات القياس عند التدفقات نفسها المطبقة على النموذج، فإذا تقاربت النتائج من بعضها في محطة القياس الأولى نتابع المعايرة بالطريقة نفسها على المحطة الثانية وهكذا لكافة محطات القياس حتى نحصل على نموذج معاير بشكل دقيق وقريب من الواقع بنسبة كبيرة.

العوامل المؤثرة على دقة النموذج:

1 -الدقة في إدخال البيانات الهندسية للمقاطع النظامية والمقاطع المأخوذة على مجرى النهر.

2 -عدد المقاطع وتحديداً في أماكن التواء النهر وأماكن تغير الميل وتغير المقطع العرضي.

3 -الدقة في إدخال معامل مانينغ لسرير النهر.

توفر لدينا بارمترات قياس للعلاقة بين (Q,h) في خمس محطات ضمن المنطقة المدروسة وهي (قطينة، المزرعة ، الغنطو، الدوير، غجر أمير) جدول (2-4) وقد استفدنا من هذه القياسات لمعايرة النموذج المدروس ومقارنتها بنتائج تطبيق البرنامج على النموذج عند المحطات نفسها وملاحظة مدى تقارب النتائج من بعضها.

جدول (2-4) علاقة (Q , h) في محطات القياس

محطة قطينة		محطة المزرعة		محطة الدوير		محطة الغنطو		محطة غجر أمير	
Q (m^3/S)	h (m)	Q (m^3/S)	h (m)	Q (m^3/S)	h (m)	Q (m^3/S)	h (m)	Q (m^3/S)	h (m)
1.5	0.4	1	0.2	1.5	0.2	1.5	0.3	1.7	0.5
2.3	0.5	2	0.3	2	0.3	2	0.4	2.5	0.6
3.2	0.6	3	0.5	3	0.4	3	0.5	3.8	0.7
4	0.7	4	0.62	5.3	0.5	5.3	0.6	5	0.8
4.9	0.8	5	0.7	6.5	0.6	6.5	0.7	6.3	0.9
5.9	0.9	6	0.8	9.3	0.7	9.3	0.8	8.8	1
6.9	1	7	0.86	10	0.8	10	0.9	9.5	1.1
8	1.1	8	0.89	13	0.9	13	1	11.2	1.2
9.1	1.2	9	0.95	15	1	15	1.1	13	1.3
10.3	1.27	10	1	17	1.1	17	1.2	15	1.4
11.5	1.3	11.5	1.12	18	1.2	18	1.3	17	1.5

2-2-3-3 معايرة محطة قطينة

يبين الجدول (2-5) والشكل (2-13) نتائج المعايرة في محطة القياس الأولى (محطة قطينة)

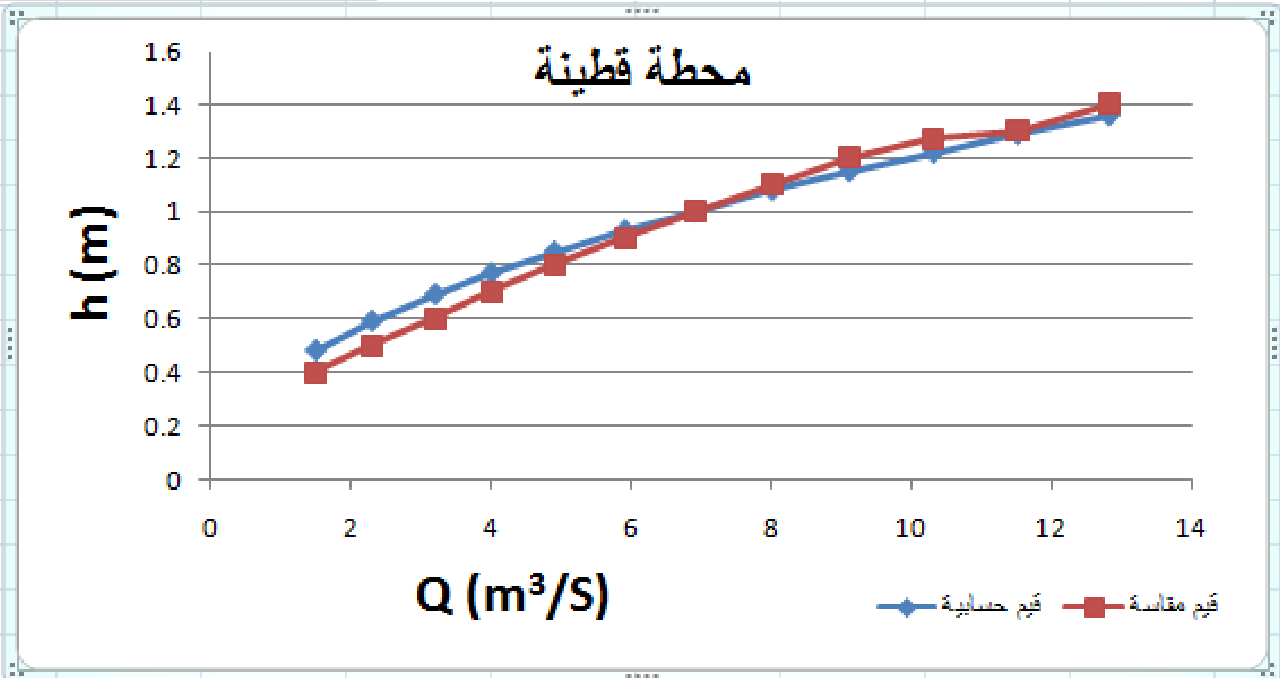
جدول (2-5) المقارنة بين القيم المقاسة والقيم الحسابية في محطة قطينة

نتائج تطبيق الموديل على النموذج المدروس في المحطة (44970) محطة قطينة

Station	River Station	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	h (m)
Katina	44970	PF 1	1.5	488	488.48	0.48
Katina	44970	PF 2	2.3	488	488.59	0.59
Katina	44970	PF 3	3.2	488	488.69	0.69
Katina	44970	PF 4	4	488	488.77	0.77
Katina	44970	PF 5	4.9	488	488.85	0.85
Katina	44970	PF 6	5.9	488	488.93	0.93
Katina	44970	PF 7	6.9	488	489	1
Katina	44970	PF 8	8	488	489.08	1.08
Katina	44970	PF 9	9.1	488	489.15	1.15
Katina	44970	PF 10	10.3	488	489.22	1.22
katina	44970	PF 11	11.5	488	489.29	1.29

القيم المقاسة (Q-h) في محطة قطينة

Q Total (m3/s)	h (m)
1.5	0.4
2.3	0.5
3.2	0.6
4	0.7
4.9	0.8
5.9	0.9
6.9	1
8	1.1
9.1	1.2
10.3	1.27
11.5	1.3



الشكل (2-13) معايرة محطة قطينة

نلاحظ من المخطط (2−13) تقارب مقبول بين خط القيم المقاسة وخط القيم المحسوبة بل ونلاحظ تطابقهما في بعض النقاط، ولكن لابد من التأكد من عملية المقارنة باستخدام إحدى طرق موازنة النتائج.

في بحثنا هذا استخدمنا طريقة معامل الارتباط الخطي r. [16]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \qquad (2-1)$$

حيث: x_i قيمة ارتفاع الماء المحسوب عند كل قيمة مختلفة للتدفق.

$\bar{x}$ قيمة المتوسط الحسابي لقيم ارتفاع الماء المحسوبة.

y_i قيمة ارتفاع الماء المقاس عند كل قيمة مختلفة للتدفق.

$\bar{y}$ قيمة المتوسط الحسابي لقيم ارتفاع الماء المقاسة.

n عدد القياسات المأخوذة في المحطة.

تتراوح قيمة r بين $1 \geq r \geq -1$

إذا كان $r = 1$ فإن ذلك يدل على أن العلاقة بين القيم الحسابية والمقاسة علاقة خطية طردية تامة

إذا كان $r = -1$ فإن ذلك يدل على أن العلاقة بين القيم الحسابية والمقاسة علاقة خطية عكسية تامة.

إذا كان $r = 0$ فإن ذلك يدل على أنه لا يوجد علاقة بين القيم الحسابية والمقاسة.

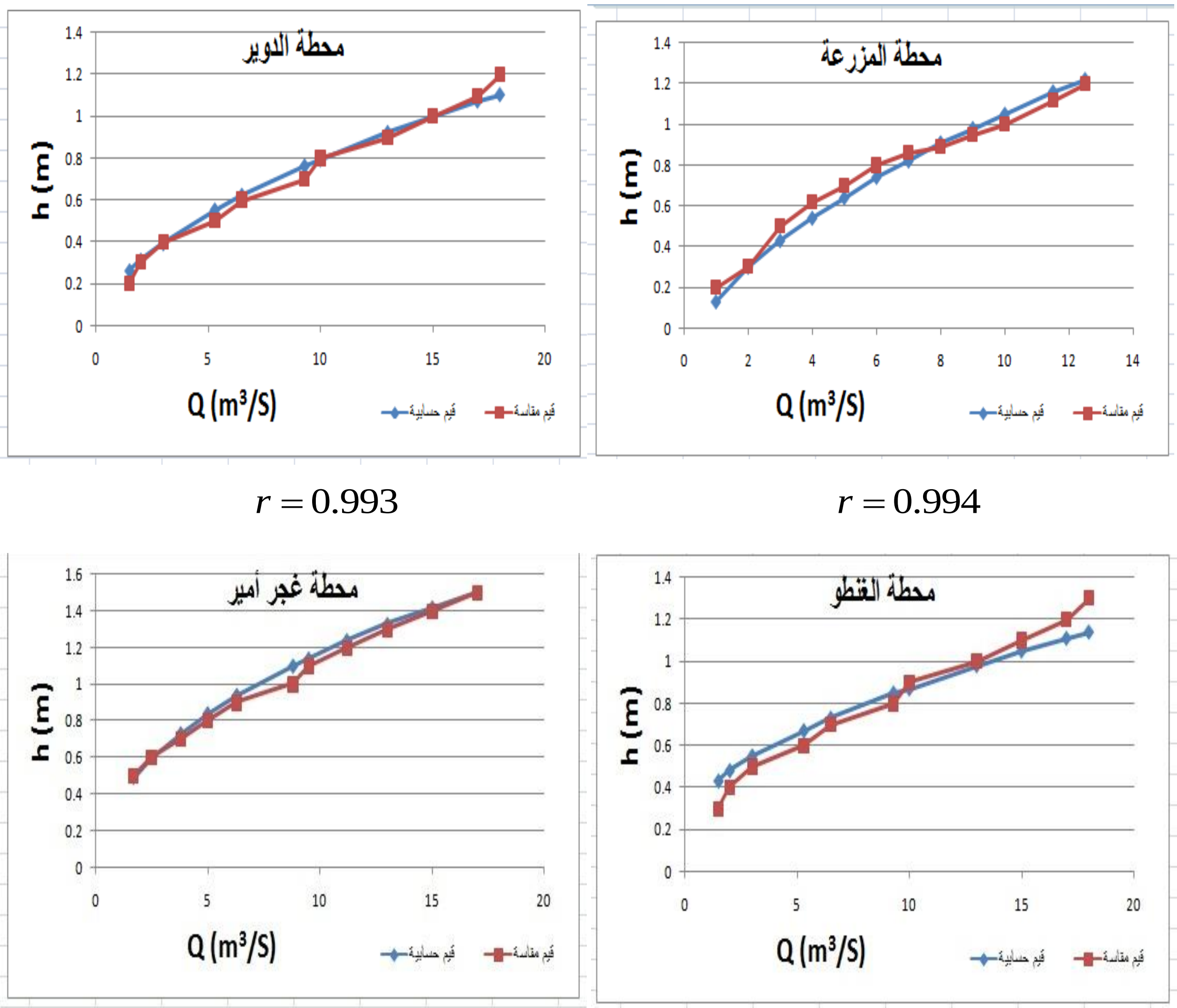
عموماً يمكن القول أ ن الارتباط يكون قوي بين القيم الحسابية والمقاسة إذا كان $r \geq 0.9$.

نحسب معامل الارتباط الخطي في المحطة الأولى (محطة قطينة) بالاستعانة بالقيم المقاسة والمحسوبة لارتفاع الماء الموافق لقيم مختلفة للتدفق، كما وردت في الجدول (2−5) فكانت قيمته $r = 0.998$

وهي قيمة تدل على تقارب مقبول بين القيم المقاسة والمحسوبة وبالتالي يمكن القول أن المحطة الأولى معايرة بشكل جيد ونتابع بنفس الطريقة للمحطات البقية.

2-3-2 معايرة محطات القياس

يبين الشكل (2-14) نتائج معايرة بقية محطات القياس



$r = 0.993$ $r = 0.994$

$r = 0.996$ $r = 0.995$

الشكل (2 -14) معايرة محطات القياس

نلاحظ من الشكل (2-14) تقارب مقبول بين خط القيم المقاسة وخط القيم المحسوبة في جميع المحطات، وقيم معامل الارتباط في كافة المحطات تبين أنه $r \geq 0.9$.

وبالتالي يمكن القول إن المعايرة جيدة، ويمكن قبول النموذج الموضوع للمنطقة وإجراء الدراسات الخاصة بهذه المنطقة باستخدام هذا النموذج.

الفصل الثالث

الدراسة الهيدروليكية للجريان
في حالات الطوارئ

3-1 الدراسة الهيدروليكية للجريان في حالات الطوارئ

حالات الطوارئ:

* حالة الفيضان
* حالة انهيار السد

تمت الدراسة الهيدروليكية للجريان في حالات الطوارئ باستخدام حالة الجريان غير المستقر (Unsteady Flow) في برنامج HEC RAS حيث يعتمد برنامج HEC- RAS على معادلات Saint – Veaant الموسّعة في محاكاة الموجة الفيضانية ودراسة خصائصها نتيجة الانهيار الافتراضي للسد .

3-1-1 معادلات Saint – Veaant-1 الموسعة

تعتمد الدراسة على معادلات **Saint – Veaant-1 الموسعة** في محاكاة الموجة الفيضانية [30,40].

$$\frac{\partial(Q)}{\partial(x)}+\frac{\partial\left[s(A+A_0)\right]}{\partial(t)}-q=0$$

$$\frac{\partial(sQ)}{\partial(t)}+\frac{\partial(Q^2/A)}{\partial(x)}+gA\left[\frac{\partial(h)}{\partial(x)}+S_f+S_e+S_i\right]+L=0 \qquad (3-1)$$

حيث:

Q: التدفق ، t: الزمن.

x :البعد بين المقطع العرضي والمقطع الذي يليه.

A : مساحة المقطع الفعال ، A_0: مساحة المقطع الميت .

q : التدفق الجانبي الداخل أو الخارج.

s : معامل التعرج، g : تسارع الجاذبية، h : ارتفاع الماء التصميمي.

S_f : معامل الاحتكاك للمناطق المجاورة. S_e: معامل ضياع الطاقة .

S_i: معامل الاحتكاك الداخلي الناتج عن مواصفات سائل الطمي.

L: تأثير كمية الحركة الناتج عن التدفق الجانبي الداخل أو الخارج.

3-1-2 معادلات Saint – Veaant-2 الموسّعة

$$S_f=\frac{|Q|Q}{K^2} \qquad S_e=\frac{k\Delta(Q/A)^2}{2g\Delta x}$$

$$S_i=\frac{\rho}{\gamma}\left[\frac{(b+2)Q}{AD^{b+1}}+\frac{(b+2)(\tau_0/k)^b}{2D^b}\right]^{\frac{1}{b}} \qquad (3-2)$$

K معامل حمولة القناة، k معامل التوسع والانكماش في القناة

γ الوزن الحجمي للسائل، τ_0 قوة القص للسائل

$b=\frac{1}{m}$ حيث m قوة الشد للسائل

$D=A/B$ العمق الهيدروليكي حيث A المساحة المغمورة و B العرض العلوي للمنطقة المغمورة.

<u>1 عناصر التدفق الداخلة</u> -

$$Q = Q_S + Q_b \qquad (3-3)$$

حيث: Q_S التدفق خلال الاستثمار، Q_b التدفق خلال الانهيار

<u>للسد</u>

$$Q_S = C_S L_S (h-h_S)^{1.5} + C_g A_g (h-h_g)^{0.5} + C_d L_d (h-h_d)^{1.5} + Q_t$$

$$Q_b = C_v k_S \left[3.1b(h-h_b)^{1.5} + 2.54z(h-h_b)^{2.5}\right] \qquad (3-4)$$

$$k_S = 1 - 27.8\left[\frac{h_t - h_b}{h - h_b} - 0.67\right]^3$$

C_S, L_S, h_S معامل المفيض ، طوله ، ارتفاع المفيض

C_g, A_g, h_g معامل البوابة ، مساحة البوابة ، ارتفاع البوابة

C_d, L_d, h_d معامل السد ، طوله ، ارتفاع السد

Q_t التدفق الموافق للضاغط h

C_V معامل التصحيح عند المدخل

K_S معامل الغمر

b, Z, h_b العرض أسفل الصدع، الانسياب الجانبي ، ارتفاع الأرضية

$b = b_0 t / t_f$ حيث b_0 العرض السفلي النهائي

t الزمن t_f زمن الانهيار

h ارتفاع سطح الماء في الحوز العلوي للمنشآة

h_t ارتفاع سطح الماء في الحوز السفلي للمنشآة

<u>2 عناصر التدفق الداخلة</u> -

$$Q = Q_S + Q_b \qquad (3-5)$$

حيث: Q_S التدفق خلال الاستثمار. Q_b التدفق خلال الانهيار.

<u>للعبارات المائية والجسور</u>

$$Q_S = C\sqrt{2g}\,A(h-h_t)^{0.5} + C_d k_S (h-h_C)^{1.5} \qquad (3-6)$$

حيث: C معامل التصريف الخاص بالجسر

A مساحة تصريف الجسر

$C_d = C_e L_e$ معامل التفريغ

h_C, C_e, L_e ارتفاع قمة الجسر ، معامل تخفيض التصريف ، الطول

3-2 الفيضان

يدرس هذا الفصل حالات الطوارئ ومنها حالة فيضان الماء من سد قطينة، وسيتم تحديد كلّ منْ:

مساحات الغمر – ارتفاع الغمر – لحظة الغمر – مدة الغمر – حجم التدفق الواصل إلى كل مقطع من المنطقة المدروسة – المناطق الأكثر تعرضاً لخطر الفيضان

تم تقسيم المنطقة (من سد قطينة إلى سد الرستن) إلى سبع محطات رئيسية تأتي أهمية كل محطة حسب بعدها عن سد قطينة والتجمعات السكانية حولها ووجود منشآت صناعية أو خدمية بالقرب من تلك المحطة.

الغاية من هذه المحطات إظهار نتائج تطبيق برنامج (HEC-RAS) على نموذج منطقة الدراسة وتحليل هذه النتائج ووضعها في متناول الجميع على شكل جداول ومخططات بيانية.

الجدول (3- 1) يبين موقع كل محطة وبعدها عن سد قطينة

المحطة	1	2	3	4	5	6	7
البعد عن سد قطينة (Km)	2.5	11	15.4	18.5	22.6	27.3	45.5
القرى والمنشآت القريبة من المحطة	رابية+جديدة العاصي	مصفاة حمص	مساكن الوعر	دوار المهندسين ديك الجن	محطة معالجة الدوير	تير معلة+ الغنطو	بحيرة الرستن

تبيّن الصورة الآتية موقع كل محطة بالنسبة لسد قطينة



صورة (3-1) تبين موقع المحطات السبع المدروسة بالنسبة لسد قطينة

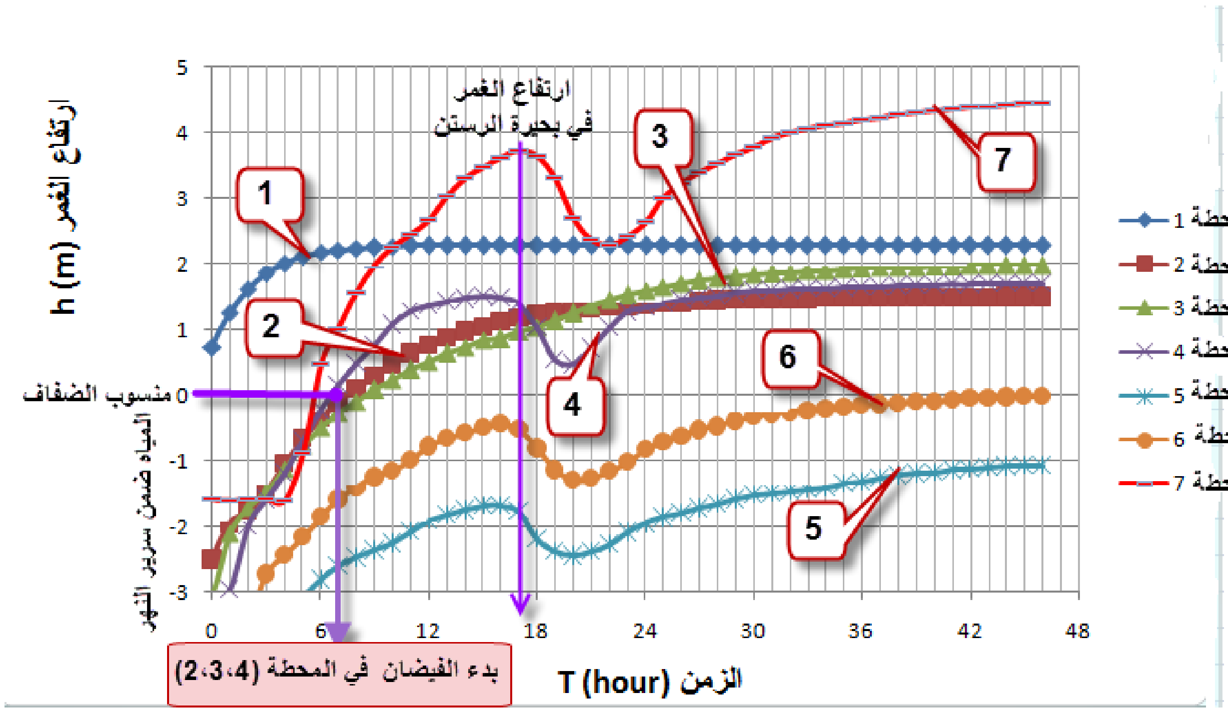
3-2-1 نتائج تطبيق برنامج (HEC-RAS) على نموذج منطقة الدراسة في حالة الفيضان

دُرست حالة الفيضان الأعظمي الممكن حدوثه دون انهيار سد قطينة $(Q=200\ m^3/S)$

- تدفق المفيض التصميمي $(120\ m^3/s)$
- البوابات (عدد 3) مفتوحة بشكل كامل تدفق كل واحدة $(20\ m^3/s)$، بالأضافة إلى تدفقات جانبية قيمتها حوالي $(20\ m^3/s)$.

فكانت النتائج في المحطات المدروسة وفق الجدول (3-1) على شكل مخططات بيانية كالآتي:

يبين الشكل (3-1) قيمة ارتفاع الغمر الفيضاني في كل محطة وزمن حصوله.

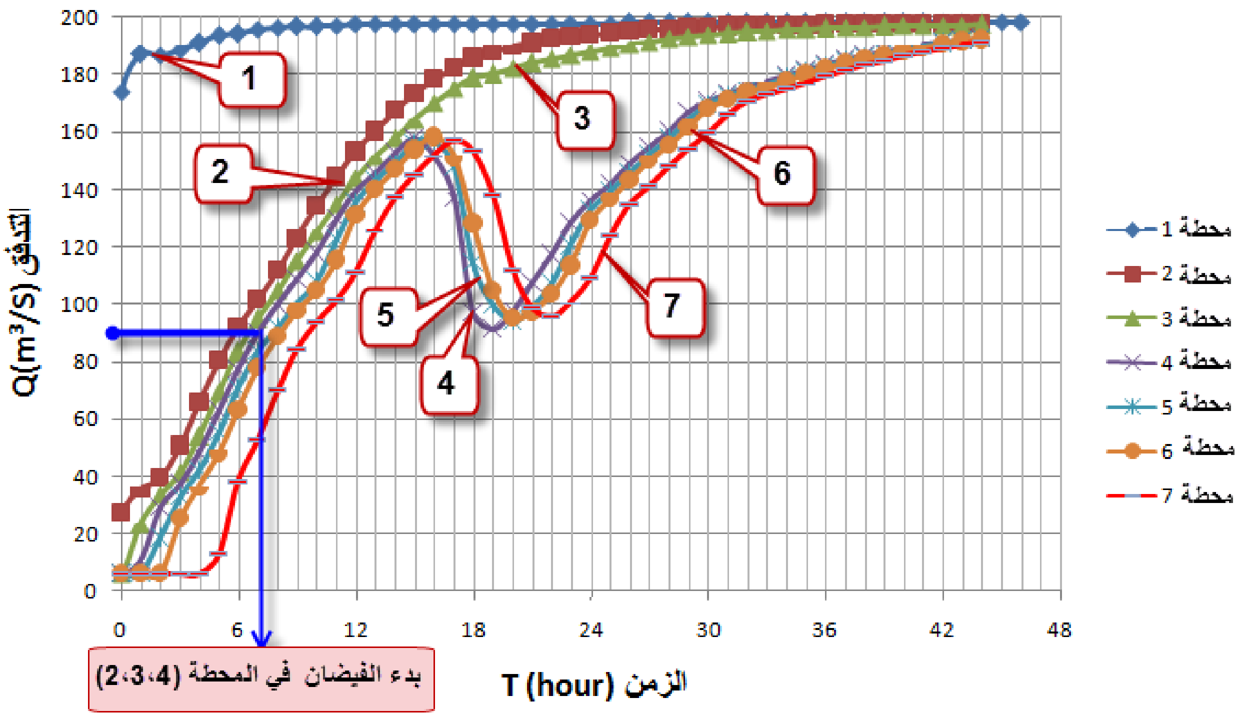


الشكل (3-1) علاقة ارتفاع الغمر مع الزمن في حالة تدفق فيضاني $(Q=200\ m^3/S)$

<u>تحليل نتائج المخطط السابق:</u>

- المحطة الأولى: تبدأ المياه بالفيضان خارج سرير النهر عند (T=0) (بداية فتح المفيض والبوابات).
- المحطة (4،3،2) يبدأ الفيضان فيها بعد 7 ساعات تقريباً
- المحطة (6،5) تبقى المياه ضمن سرير النهر ولا يحدث فيضان في تلك المناطق بين المحطتين.
- المحطة (7) بحيرة الرستن نلاحظ أن الفيضان يؤدي إلى ارتفاع الماء في البحيرة بمقدار 4m تقريباً بعد 17 ساعة من بدء الفيضان.

يبين الشكل (3−2) قيمة التدفق الفيضاني الواصل إلى كل محطة وزمن وصوله.



الشكل (3−2) زمن وصول التدفق الفيضاني إلى كل محطة

تحليل نتائج المخطط السابق:

- التدفق الواصل إلى المحطات (4،3،2) بعد 7 ساعات من بداية الفيضان (أي بداية الغمر في هذه المحطات) هو (Q=90 m^3/S) تقريباً.

وبالتالي يمكن القول إن قيمة التدفق الآمن الذي يستوعبه النهر دون حصول فيضان خارج سرير النهر اعتباراً من المحطة الثانية إلى بحيرة الرستن هو حوالي (Q=90 m^3/S).

3−2−2 سيناريوهات الفيضان

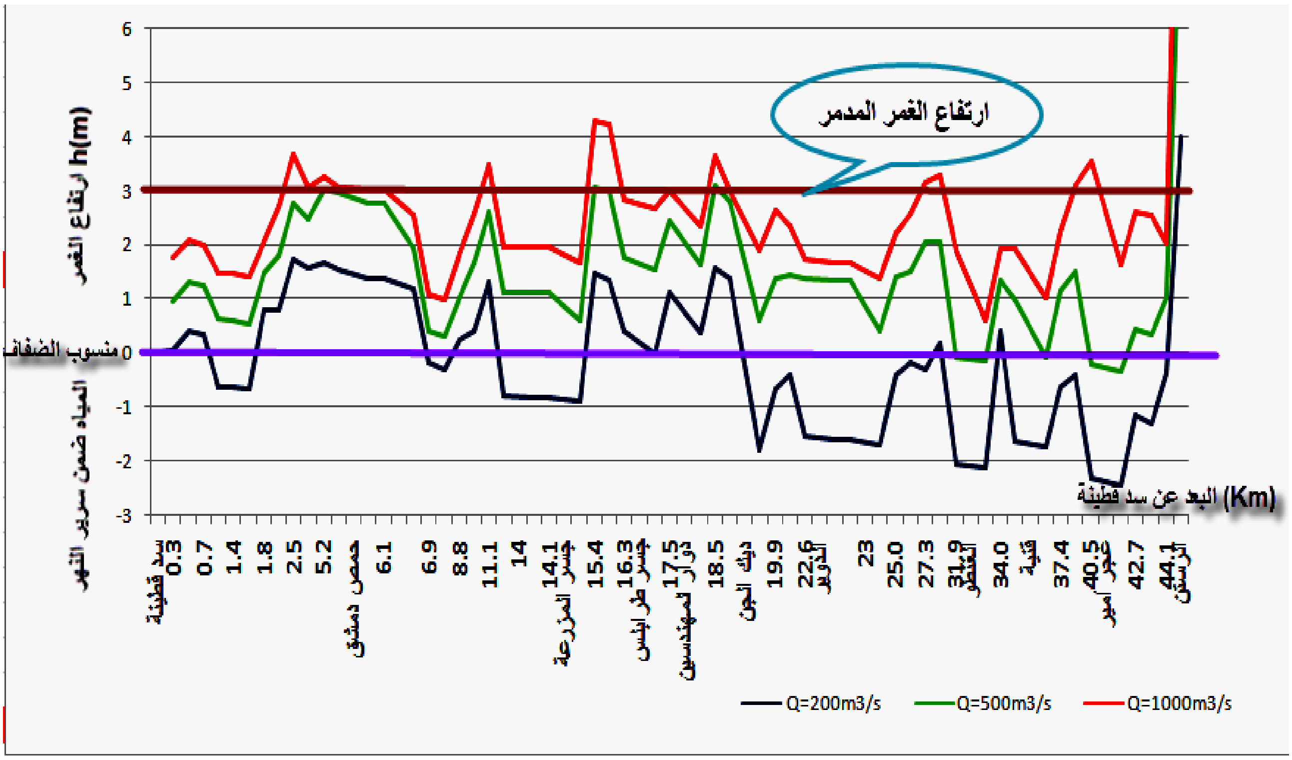
طُبقت أكثر من قيمة للفيضان على نموذج منطقة الدراسة وعُرضت النتائج على شكل مخططات وقُورَنت مع بعضها وحُلّلَت هذه النتائج ودُرس تأثيرها على منطقة الدراسة وعلى بحيرة الرستن.

سيناريوهات الفيضان		
Q=200 m^3/S	Q=500 m^3/S	Q=1000 m^3/S

النتائج			
ارتفاع الغمر (m)	مساحات الغمر (m^2)	سرعة الغمر (m/S)	حجم التدفق الواصل إلى الرستن (10^6 m^3)

مخططات سيناريوهات الفيضان

يبين الشكل (3-3) ارتفاع الغمر الأعظمي في كل مقطع من منطقة الدراسة وفق كل سيناريو من سيناروهات الفيضان المدروسة.

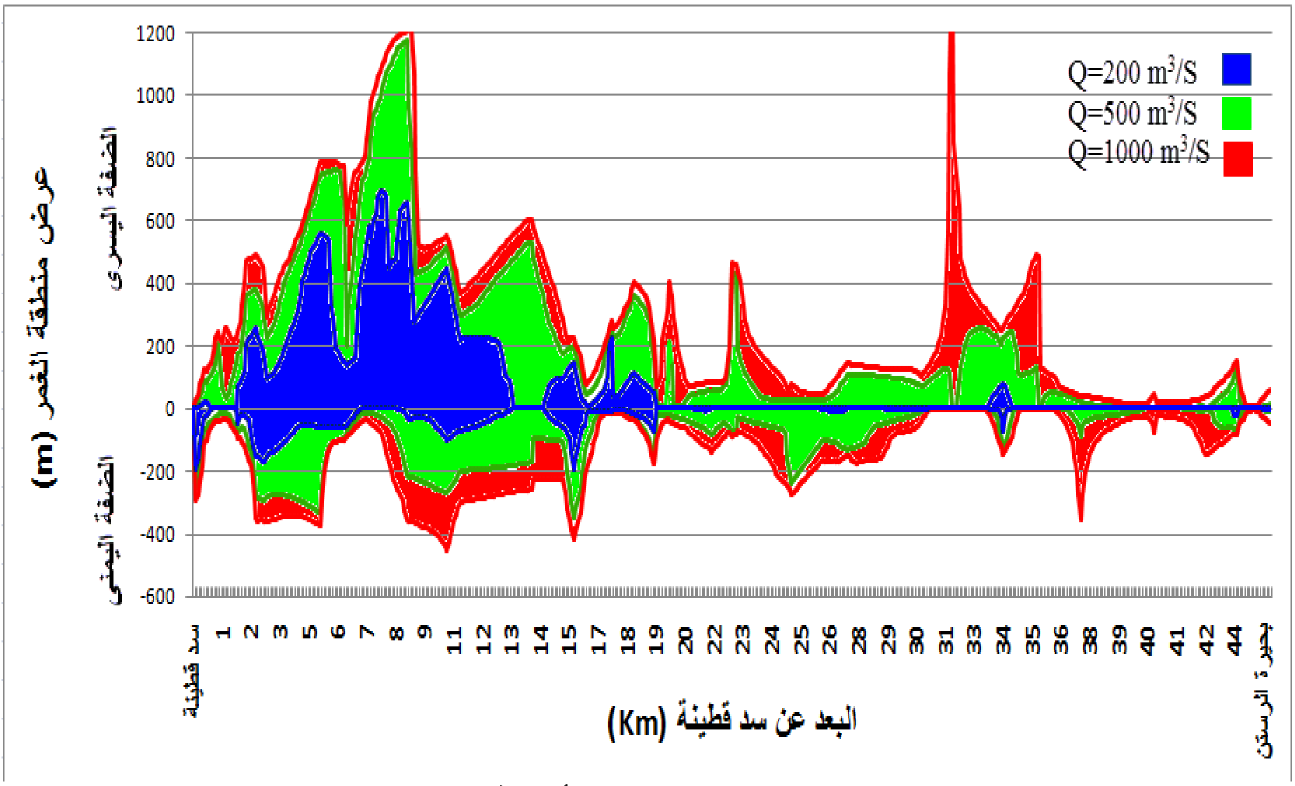


الشكل (3-3) ارتفاع الغمر الأعظمي وفق كل سيناريو

نلاحظ من المخطط السابق:

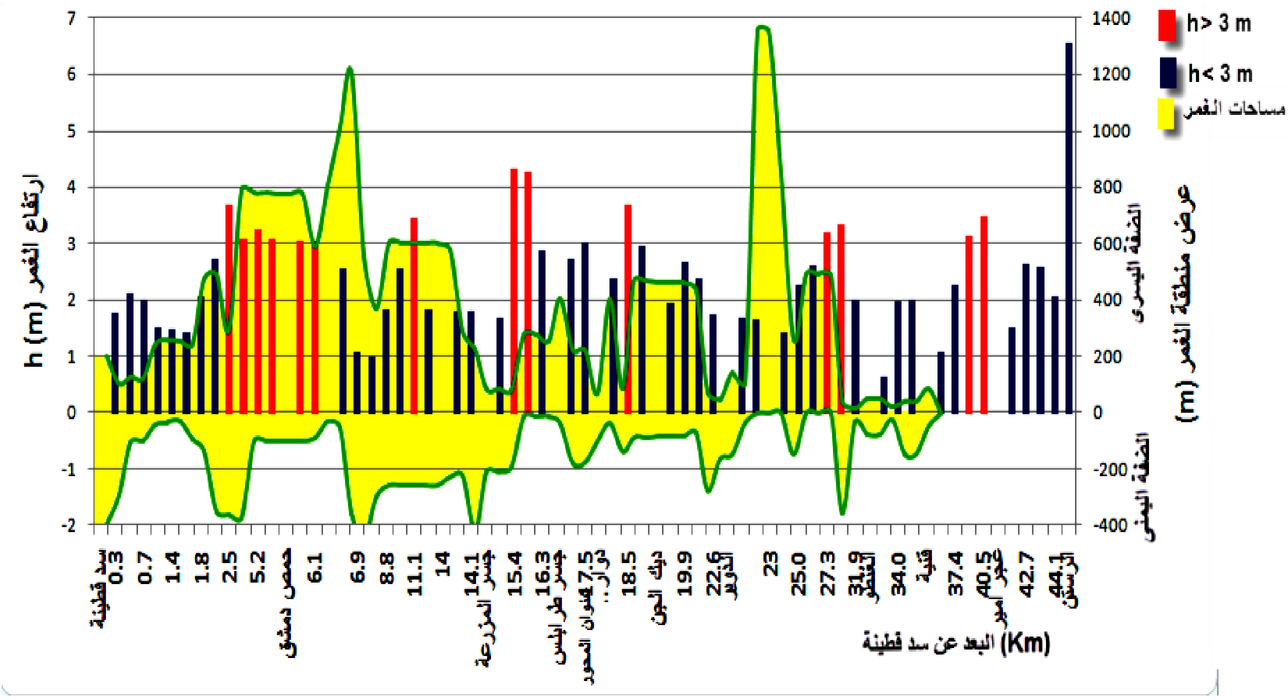
- السيناريو الأول (التدفق الفيضاني m^3/S Q=200): ارتفاع الغمر الأعظمي يتراوح بين (0≤ h ≤ 1.5 m) وبالتالي يمكن تصنيف الفيضان متوسط الخطورة.
- السيناريو الثاني (التدفق الفيضاني m^3/S Q=500): ارتفاع الغمر الأعظمي يتراوح بين (0.5m≤ h ≤ 3m) وبالتالي يمكن تصنيف الفيضان بأنه فيضان خطر.
- السيناريو الثالث (التدفق الفيضاني m^3/S Q=1000): ارتفاع الغمر الأعظمي يتراوح بين (1m≤ h ≤ 4m) وبالتالي يمكن تصنيف الفيضان بأنه فيضان خطر جداً (مدمر)[29,45].

يبين الشكل (3-4) مساحات الغمر الأعظمية في كل مقطع من منطقة الدراسة وفق كل سيناريو من سيناريوهات الفيضان المدروسة.



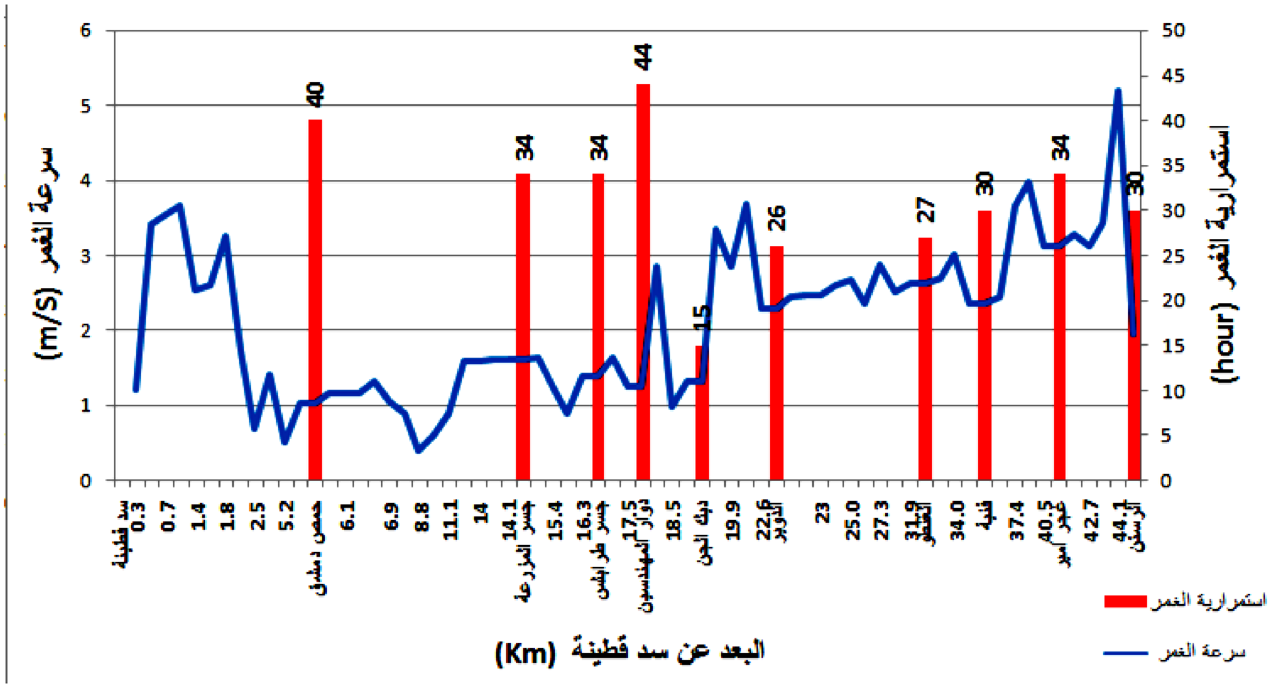
الشكل (3−4) مساحات الغمر الأعظمية وفق كل سيناريو

بالدمج بين المخططين (3−3) و(3−4) نحصل على المخطط (3−5) الذي يوضح مساحات الغمر نتيجة السيناريو الثالث ($Q=1000\ m^3/S$) مرفقة بارتفاع الغمر في كل مقطع من مقاطع منطقة الدراسة.

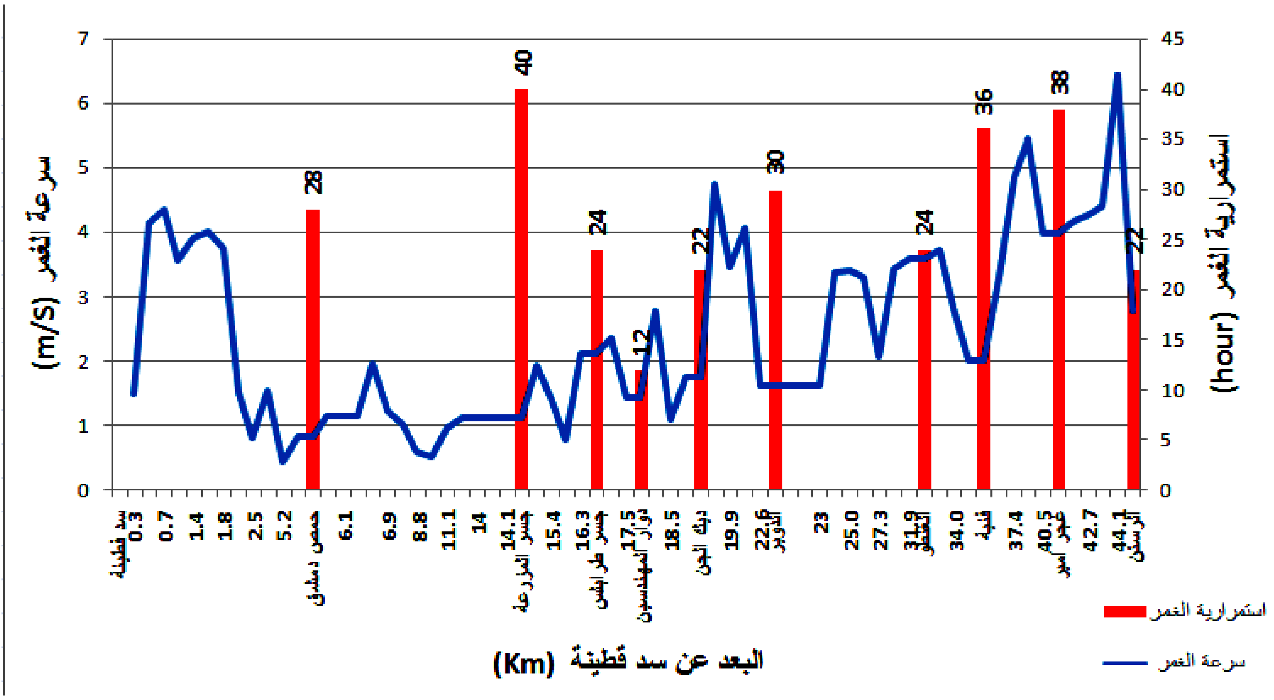


الشكل (3−5) مساحات الغمر الأعظمية مرفقة بارتفاع الغمر وفق السيناريو الثالث ($Q=1000\ m^3/S$)

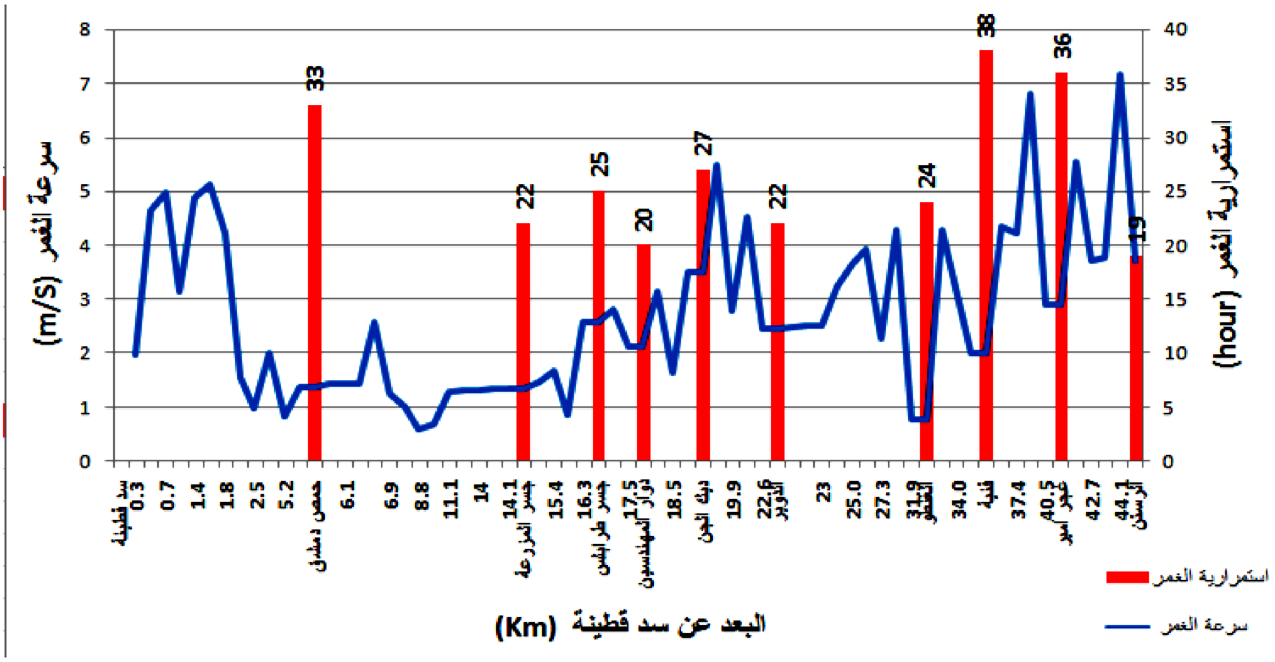
يبين الشكل (3-6) و (3-7) و(3-8) سرعة الغمر الأعظمية في كل مقطع من منطقة الدراسة مرفقة باستمرارية الغمر عند المنشآت المقامة على مجرى النهر ضمن المنطقة المدروسة وفق كل سيناريو من سيناريوهات الفيضان المدروسة.



الشكل (3-6) سرعة الغمر الأعظمية مرفقة باستمرارية الغمر وفق السيناريو الأول (Q=200 m^3/S)



الشكل (3-7) سرعة الغمر الأعظمية مرفقة باستمرارية الغمر وفق السيناريو الثاني (Q=500 m^3/S)



الشكل (3-8) سرعة الغمر الأعظمية مرفقة باستمرارية الغمر وفق السيناريو الثالث ($Q=1000\ m^3/S$)

نستفيد من المخططات السابقة في تحديد المنشآت المهددة بالانهيار حيث إن العوامل المؤثرة في انهيارها: سرعة الجرف – استمرارية الغمر الكبيرة التي تتجاوز 10 ساعات مترافقة مع سرعة أعظمية – نوعية الأتربة والرمل والحجارة المحملة بمياه الفضان – عمق التأسيس لهذه المنشآت.

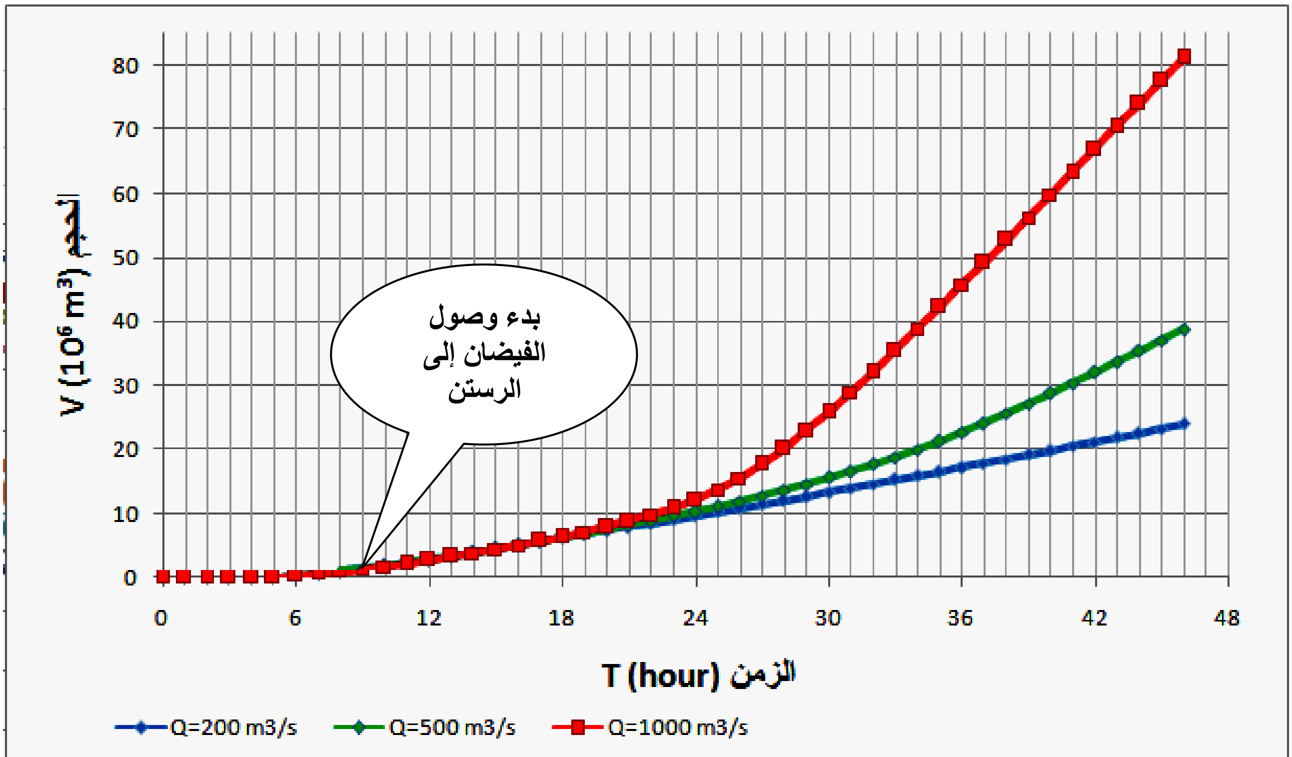
يجب مراعاة كل هذه العوامل لدراسة احتمال انهيار المنشآت ويبين الجدول التالي السرعات الأعظمية المسموحة الموضوعة من قبل (اللجنة الخاصة للبحث الزراعي ASCE) (v m/S)

جدول (3-2) السرعات الأعظمية المسموحة (v m/S)

نوع التربة (لاوجود للنباتات)	ماء نظيف	ماء يحمل سيلت ناعم	ماء يحمل الرمل والبحص
رمل ناعم	0.45	0.76	0.45
سيلت	0.6	0.9	0.6
بحص ناعم	0.76	1.5	1.12
غضار قاسي	1.12	1.5	0.9
سيلت نهري	0.6	1.1	0.6
بحص خشن	1.21	1.82	2
كتل وحصويات	1.5	1.67	2

3-2-2-1 تأثير الفيضان على سد الرستن وفق كل سيناريو من سيناريوهات الفيضان

يبين الشكل (3-9) حجم الماء الواصل إلى بحيرة الرستن (المحطة 7) وفق كل سيناريو من سيناريوهات الفيضان المدروسة.



الشكل(3-9) حجم الماء الواصل إلى بحيرة الرستن وزمن وصوله وفق كل سيناريو

نلاحظ من الشكل السابق:

❖ حجم الفيضان الأعظمي الواصل إلى بحيرة الرستن بعد يومين من فيضان سد قطينة وفق سيناريوهات الفيضان مبين في الجدول الآتي.

سيناريوهات الفيضان	السيناريو الأول $Q=200\ m^3/S$	السيناريو الأول $Q=500\ m^3/S$	السيناريو الأول $Q=1000\ m^3/S$
الحجم الواصل إلى الرستن$(10^6\ m^3)$	23	40	80

❖ نلاحظ أن بداية وصول التدفق الفيضاني إلى بحيرة الرستن هو بعد تسع ساعات تقريباً من بداية الفيضان وبالتالي يجب وضع سيناريو تفريغ كمية من مياه سد الرستن خلال 9 ساعات لتخفيف الضغط عن سد الرستن.

3-3 انهيار افتراضي لسد قطينة السيناريو الأخطر (حالة التخزين الأعظمي)

3 – 3- 1 *فرضيات الدراسة*

وُضعت هذه الفرضيات بناءً على دراسة لسد قطينة باستخدام برنامج (BREACH) الذي يأخذ بعين الاعتبار ارتفاع السد وحجم التخزين الأعظمي والتركيب الحبي للسد، وبناءً على ذلك نحصل على نوع لانهيار المحتمل حدوثه وشكله وأبعاد فتحة الانهيار.

1 – تمت الدراسة باعتبار أن الانهيار من نوع (Piping) أي أنه عندما يتعرض السد للظرف المسبب لانهياره تتشكل فجوة صغيرة في مناطق الضعف في السد تبدأ هذه الفجوة بالكبر حتى تؤدي إلى الفتحة الكاملة للسد وبالتالي انهيار السد.

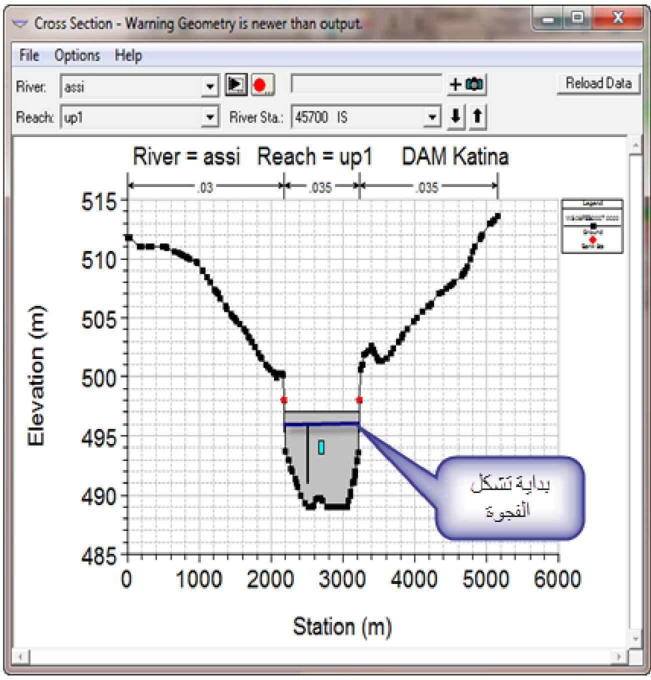
2– السد في الحالة التخزينية العظمى ومنسوب الماء أمام السد (496 m) وحجم التخزين في البحيرة ($V= 200$ m m^3).

3– تاريخ بدء الدراسة افتراضي (8 Feb 2007) ويبدأ الانهيار بتشكل فجوة صغيرة الشكل (3–10) عندما يصبح منسوب الماء أمام السد (496 m) ثم تتطور هذه الفتحة حتى تصل إلى الفتحة الكاملة بعد ساعتين الشكل (3–11) (الفتحة بشكل شبه منحرف عرض الفتحة من الأسفل 350 m ارتفاعها 6 m)

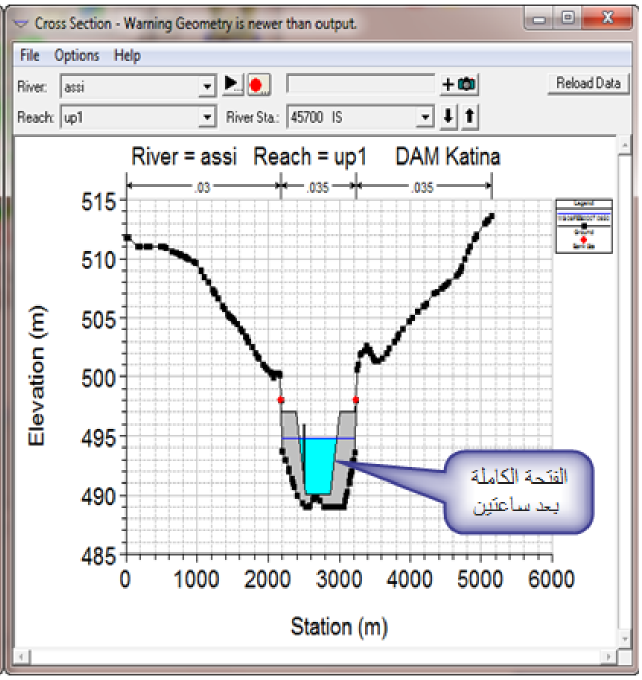
4– مدة الدراسة 4 أيام.

3 – 3 – 2 مخططات الانهيار الافتراضي للسد وشكل الانهيار

تبين الأشكال الآتية نوع الانهيار الافتراضي للسد وشكل فتحة الانهيار :



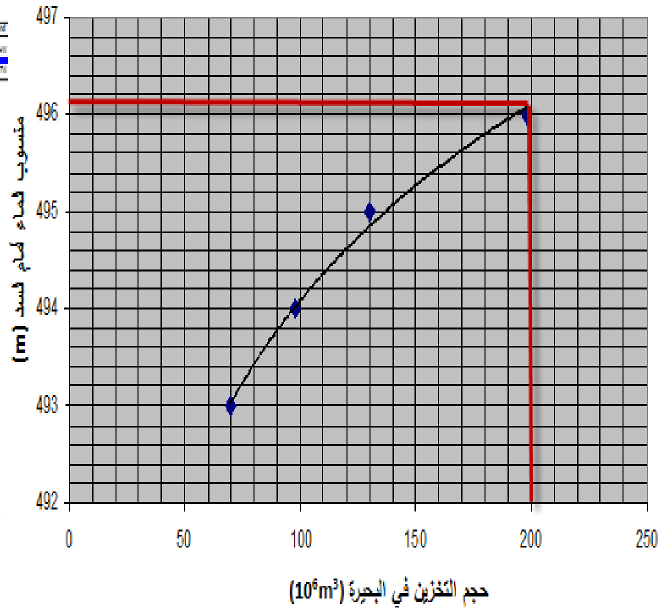
الشكل (3–10) بداية تشكل فجوة في السد



الشكل (3–11) تشكل فتحة كبيرة في السد

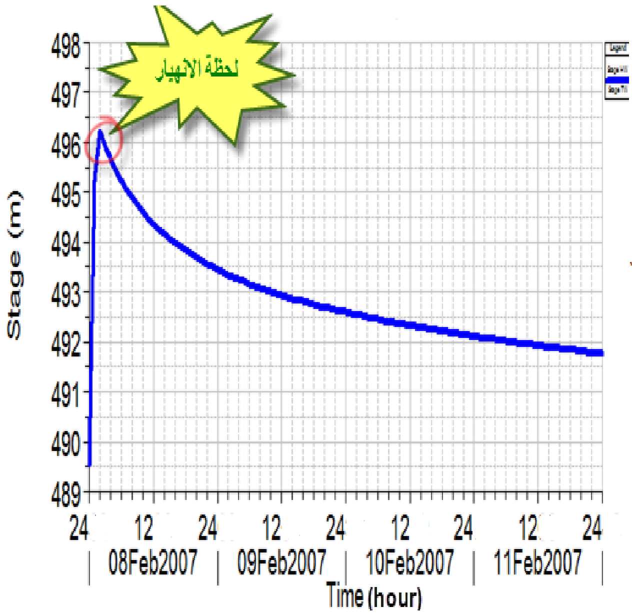
يبين الشكل (3−12) لحظة انهيار السد وكيفية انخفاض الماء أمام السد مع الزمن حيث حصل الانهيار في الساعة الثانية من يوم (02/8 Feb 2007) وكان منسوب الماء أمام السد (496 m) .

يبين الشكل (3−13) حجم التخزين الأعظمي في السد ($200 *10^6$ m^3) عند منسوب (496 m).



الشكل (3−13)

يبين حجم التخزين أمام السد عند مناسيب مختلفة



الشكل (3−12)

علاقة ارتفاع الماء أمام السد مع الزمن

3−3−3 نتائج تطبيق برنامج HEC-RAS على نموذج منطقة الدراسة في حالة انهيار افتراضي لسد قطينة

دُرس تأثير الموجة الفيضانية الناجمة عن احتمال انهيار سد قطينة وحُددت:

مساحات الغمر− ارتفاع الغمر − زمن الغمر − مخطط الغمر للمنطقة المعرضة للفيضان الناجم عن الانهيار الافتراضي، ومن ثم دراسة تأثير احتمال انهيار سد (قطينة) على سد الرستن وصولاً إلى وضع مقترح لخطة طوارئ في حال انهياره.

أُجريت الدراسة وفق السيناريو الأخطر (السد في حالة تخزين أعظمي) وتبعاً لهذا السيناريو تم تحديد العناصر الرئيسية للموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار السد وهي:

1 −قيمة التدفق الأعظمي الواصل إلى كل محطة والزمن اللازم لوصوله.

2 −ارتفاع الغمر الأعظمي في كل محطة وزمن حدوثه.

3 −حجم الماء والتدفق الواصل إلى سد الرستن والزمن اللازم لوصول التدفق الأعظمي.

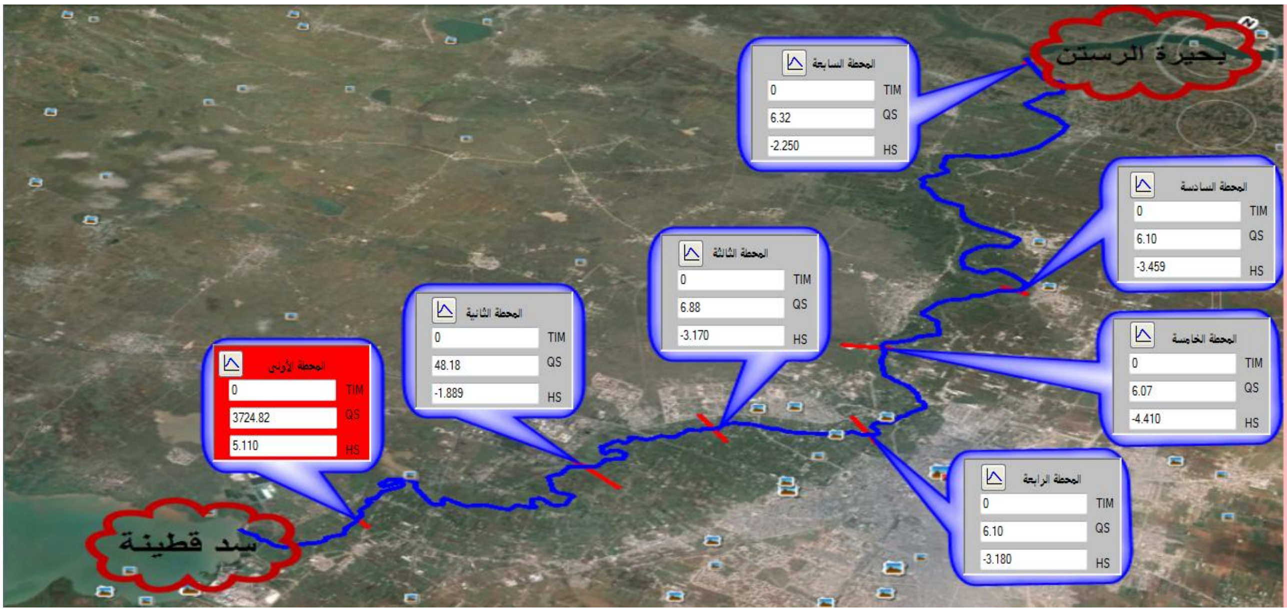
فكانت النتائج كالآتي:

سنعرض النتائج على شكل واجهات من موديل صُممّت باستخدام الفيجوال بيسك و تم ربط الموديل مع قاعدة البيانات التي تحوي نتائج الانهيار حيث يساعد هذا الموديل في:

1 -سهولة التعامل مع الكم الهائل من النتائج (في كل مقطع وفي كل ساعة من مدة الدراسة).

2 -استثمار هذه النتائج من قبل أي جهة غير دارسة.

تبين الصورة (3-2) المحطات ونتائج تطبيق الانهيار الافتراضي على سد قطينة



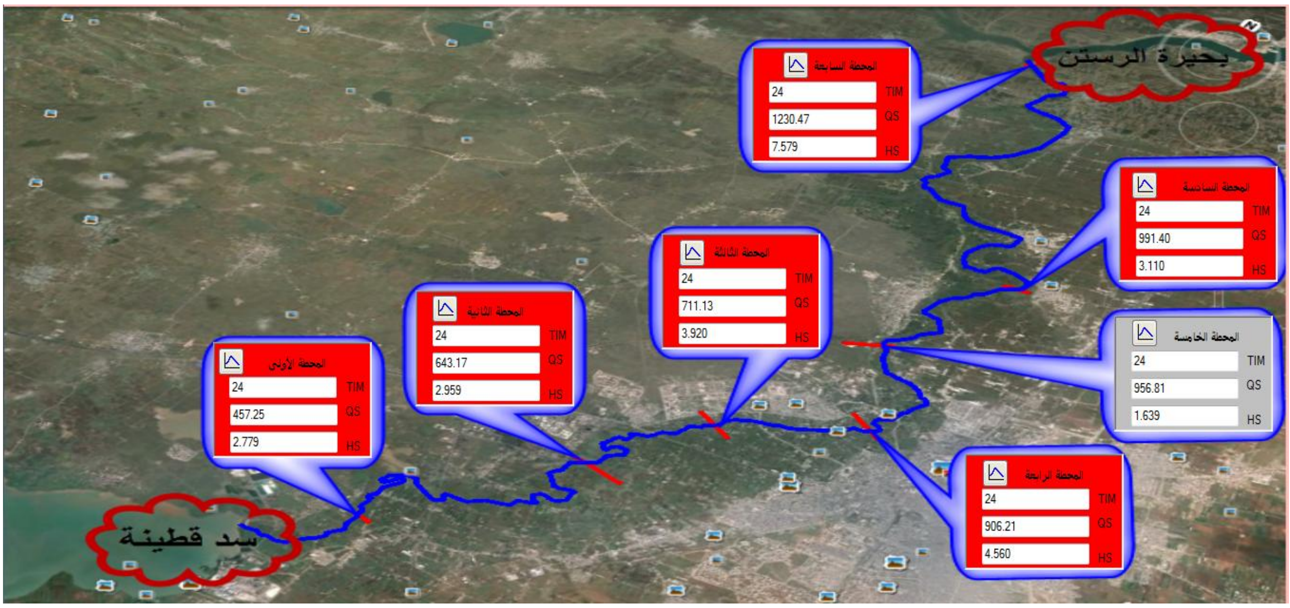
الصورة (3-2) نتائج تطبيق الانهيار الافتراضي على المحطات لحظة الانهيار(الزمن T=0)

نلاحظ من الصورة (3-2) أن المستثمر يمكنه الحصول على:

1 -قيمة التدفق الفيضاني الناجم عن الانهيار الواصل إلى كل محطة لحظة الانهيار

2 -قيمة ارتفاع الغمر في كل محطة لحظة الانهيار

تبين الصورة (3-3) نتائج تطبيق الانهيار الافتراضي على سد قطينة بعد 24 ساعة من لحظة الانهيار

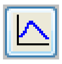


الصورة (3-3) نتائج تطبيق الانهيار الافتراضي على المحطات عند الزمن(T=24 hour)

وبالتالي نلاحظ من الصورة (3-3):

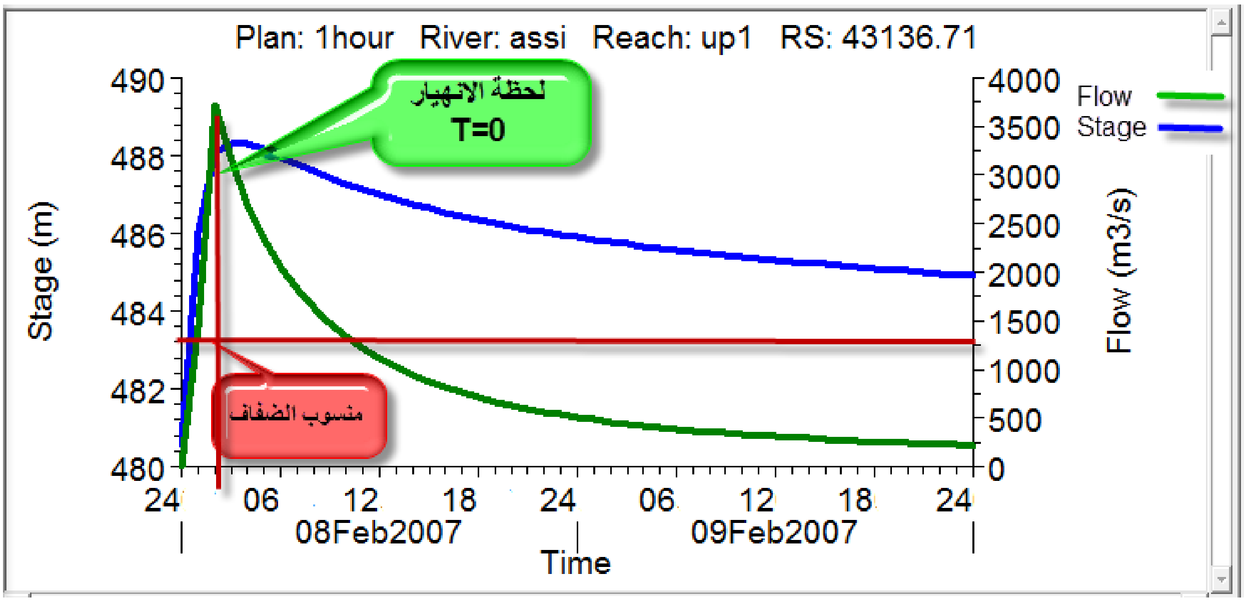
1 -يمكن للمستثمر معرفة التدفق الفيضاني وارتفاع الغمر في كل محطة وعند كل زمن يحدّده المستثمر من مدة الدراسة.

2 -نلاحظ أن أغلب المحطات أخذت اللون الأحمر الذي يدل على الخطورة حيث إن الدارس يلفت انتباه المستثمر إلى ارتفاع الغمر تجاوز الحد المسموح (h > 3 m) في هذه المحطة ولابد من إجراء اللازم.

3 -نلاحظ أيضاً وجود إشارة إلى مخططات الغمر عند كل محطة  عند استخدام هذه الأيقونة ستظهر مخططات الغمر في كل محطة بالشكل الآتي:

❖ ***مخططات الغمر في المحطة الأولى (43136.71) يأخذ كل مقطع في النموذج تسمية رقمية)***

يبين الشكل (3-14) قيمة التدفق الفيضاني الأعظمي وزمن وصوله في المحطة الأولى بالإضافة إلى منسوب الغمر الأعظمي في هذه المحطة بعد الانهيار *الافتراضي لسد قطينة.*

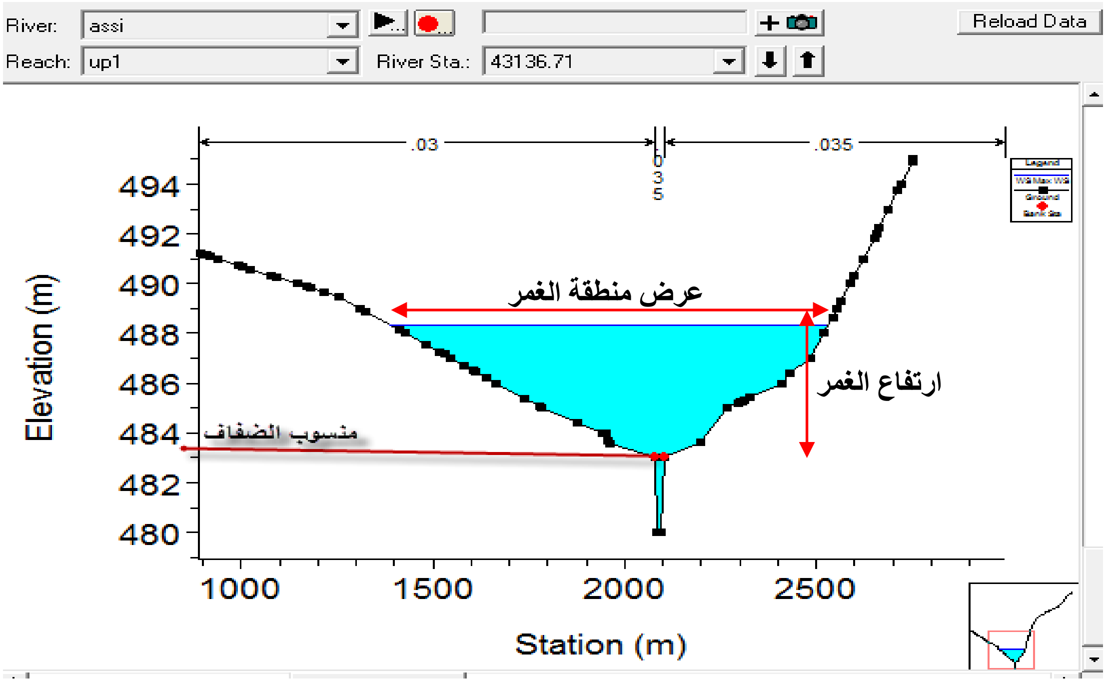


الشكل (3-14) علاقة منسوب الغمر والتدفق مع الزمن في المحطة الأولى بعد الانهيار

نلاحظ من الشكل (3-14):

1 -قيمة التدفق الأعظمي الواصل إلى المحطة ($Q=3724.8\ m^3/S$) وزمن وصوله من جراء الانهيار الافتراضي لسد قطينة (T=02/8 Feb 2007) وهي ساعة حصول الفتحة الكاملة في السد.

2 -قيمة منسوب الغمر الأعظمي ($\Delta=488.3$ m) و زمن وصوله إلى المحطة (T=03/8 Feb 2007) أي بعد ساعة من حصول الفتحة الكاملة في السد.



الشكل (3 -15) مقطع عرضي للمحطة الأولى تبين ارتفاع الغمر ومساحات الغمر على الضفتين

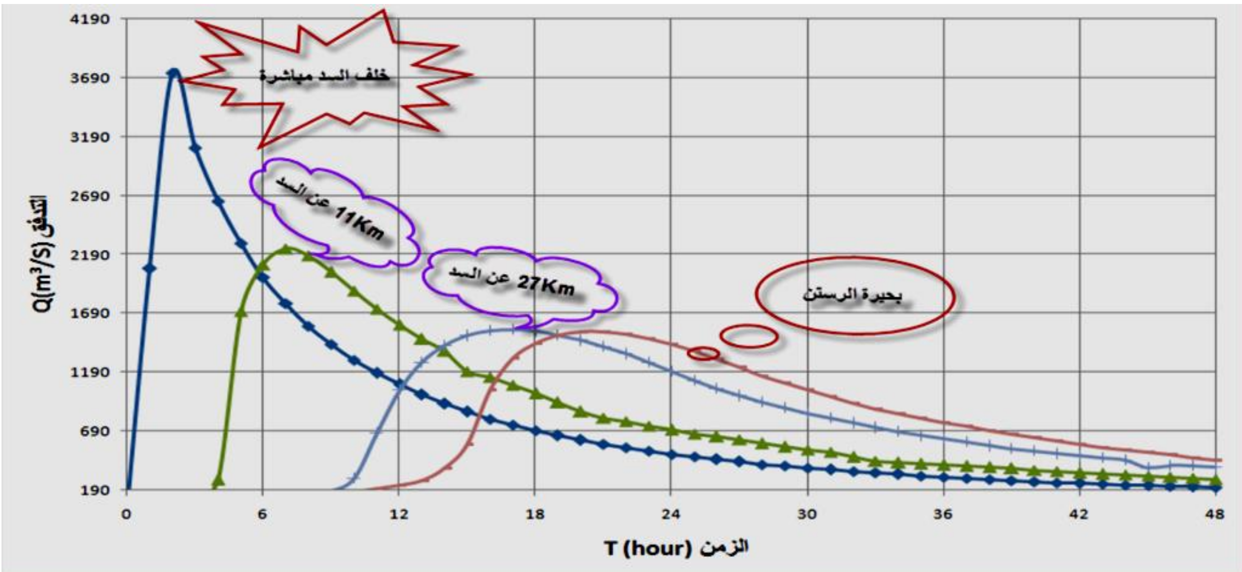
نلاحظ من الشكل (3-15): 1- ارتفاع الغمر الأعظمي في المحطة الأولى يساوي (h=5m).

2- عرض منطقة الغمر حوالي (1 km).

نتائج الغمر ومخططاته لبقية المحطات ولجميع الأزمنة ضمن مدة الدراسة موجودة في جدول (3-1) ملاحق

3-3-4 تقدم الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار

يبين الشكل (3-16) كيفية تقدم الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار مع الزمن



الشكل (3-16) تقدم الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار

نلاحظ من الشكل (3-16) كيفية تخامد الموجة الفيضانية حيث نلاحظ أنها تتخامد إلى حوالي النصف على بعد 11km من السد ثم يكون التخامد بنسب أقل كلما ابتعدنا عن السد.

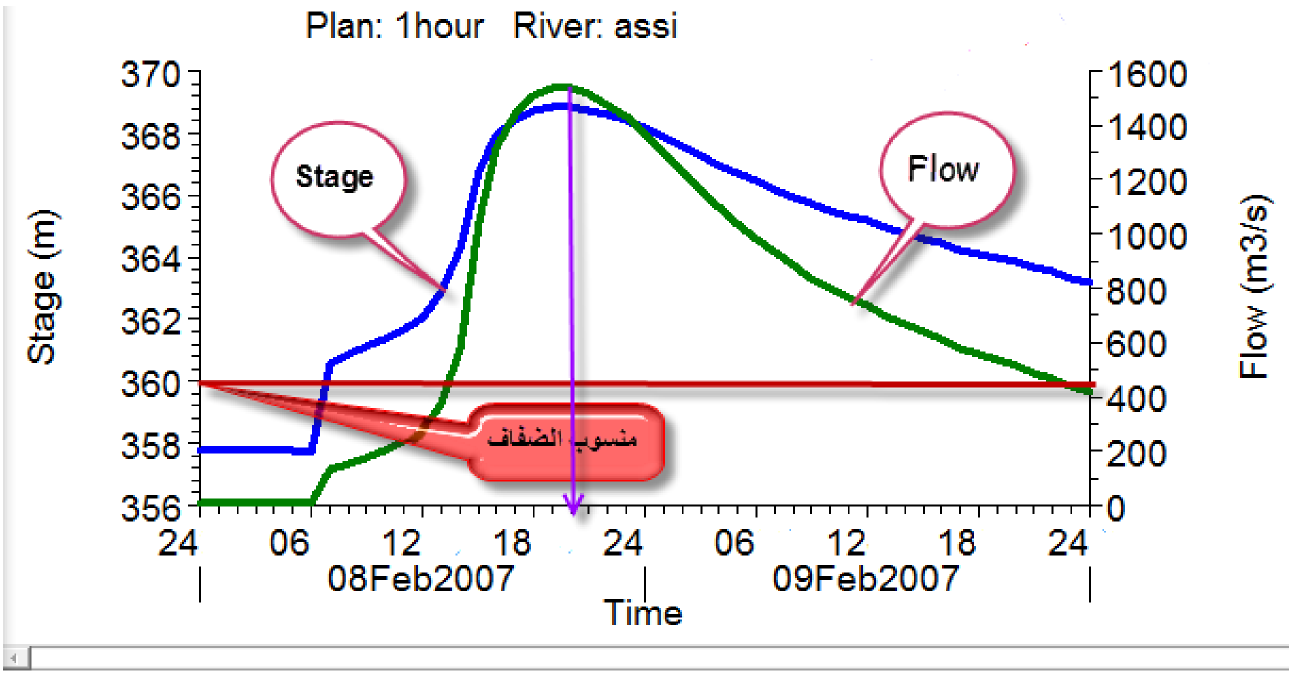
3-3-5 تأثير الانهيار الافتراضي لسد قطينة على بحيرة الرستن

لابد من دراسة تأثير الانهيار الافتراضي لسد قطينة على سد الرستن من حيث:

- حجم التدفق الفيضاني الواصل إلى بحيرة الرستن وبالتالي تأثيره على زيادة حجم التخزين فيها.
- ارتفاع الغمر الأعظمي الواصل إلى البحيرة وبالتالي تأثيره على منسوب الماء أمام سد الرستن.
- زمن وصول التدفق الأعظمي وارتفاع الغمر إلى البحيرة.

نلاحظ من الجدول (3-1) أن المحطة 7 تمثل مدخل بحيرة الرستن لذلك سنستفيد من مخططات الغمر في هذه المحطة في دراسة بحيرة الرستن:

يبين الشكل (3-17) التدفق الفيضاني ومنسوب الغمر الأعظمي الواصل إلى بحيرة الرستن وزمن الوصول



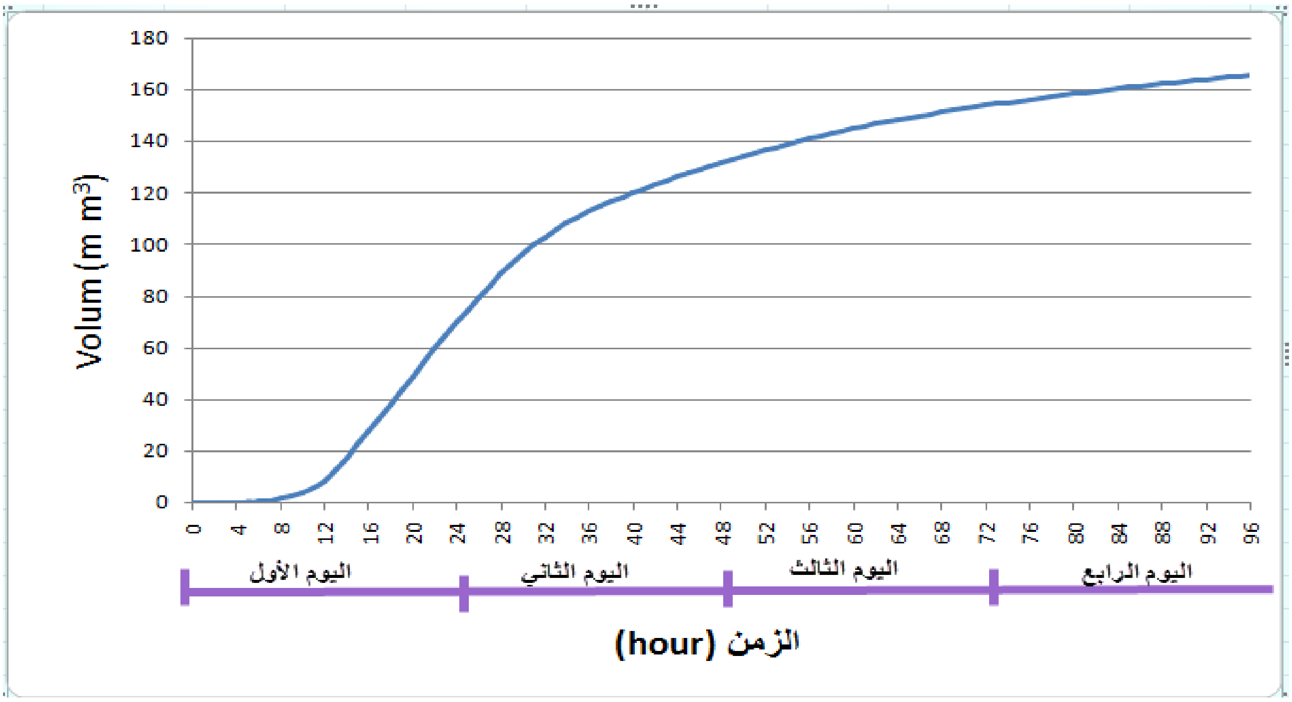
الشكل (3-17) علاقة منسوب الغمر والتدفق الفيضاني مع الزمن في المحطة السابعة (بحيرة الرستن)

نلاحظ من الشكل (3-17) مايلي:

1- قيمة التدفق الأعظمي الواصل إلى بحيرة الرستن ($Q=1535.56\ m^3/S$) وزمن وصوله من جراء الانهيار الافتراضي لسد قطينة (T=20/8 Feb 2007) أي بعد 18 ساعة من حصول الفتحة الكاملة في السد.

2- قيمة منسوب الغمر الأعظمي ($\Delta=368.8$ m) و زمن وصوله في البحيرة (T=20/8 Feb 2007) أي أن التدفق الفيضاني يسبب زيادة في منسوب الماء في البحيرة بمقدار (8.8m) بعد 20 ساعة من لحظة بدء الانهيار الافتراضي لسد قطينة.

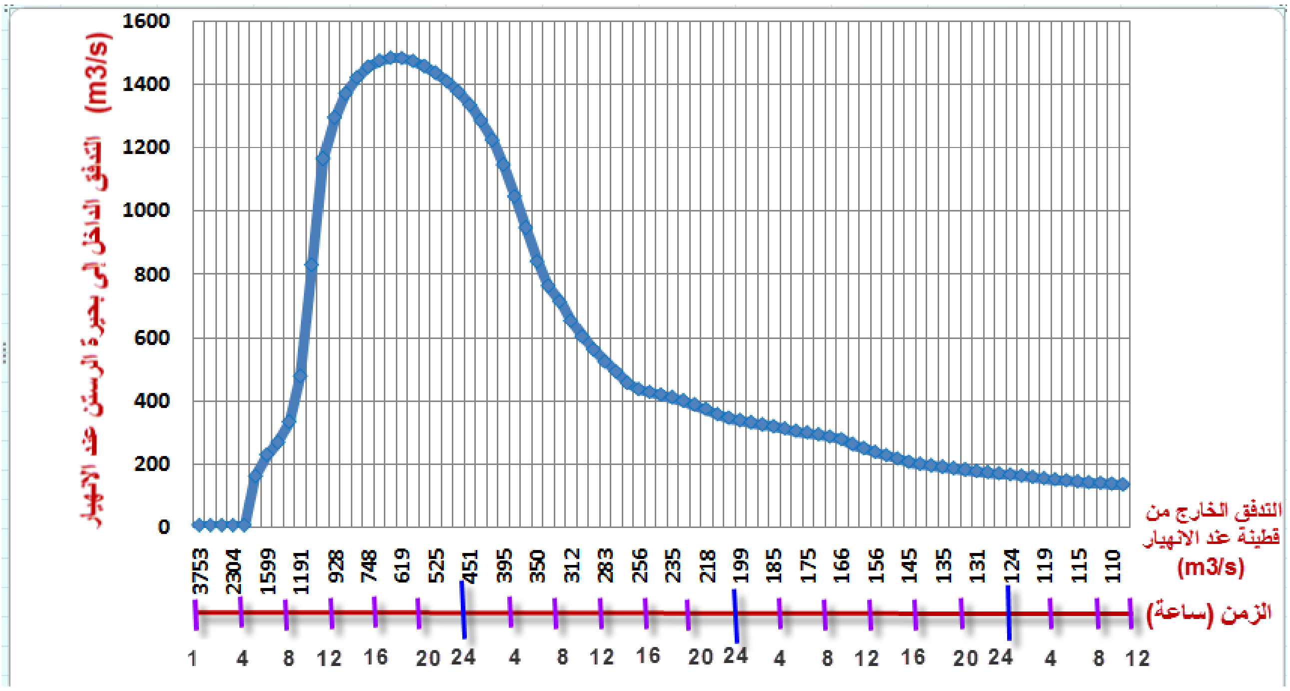
يبين الشكل (3-18) حجم التخزين الأعظمي في بحيرة الرستن بعد حصول الانهيار الافتراضي لسد قطينة



الشكل (3-18) علاقة حجم التخزين الأعظمي في بحيرة الرستن مع الزمن

نلاحظ أن حجم التخزين الواصل إلى بحيرة الرستن بعد (أربع أيام) من حصول الانهيار الافتراضي لسد قطينة ($V=165.5*10^6\ m^3$) دون إجراءات التفريغ لسد الرستن.

يبين الشكل (3-19) علاقة التدفق الفيضاني الخارج جراء الانهيار الافتراضي لسد قطينة خلال مدة الدراسة (4 أيام) مع التدفق الداخل إلى بحيرة الرستن.

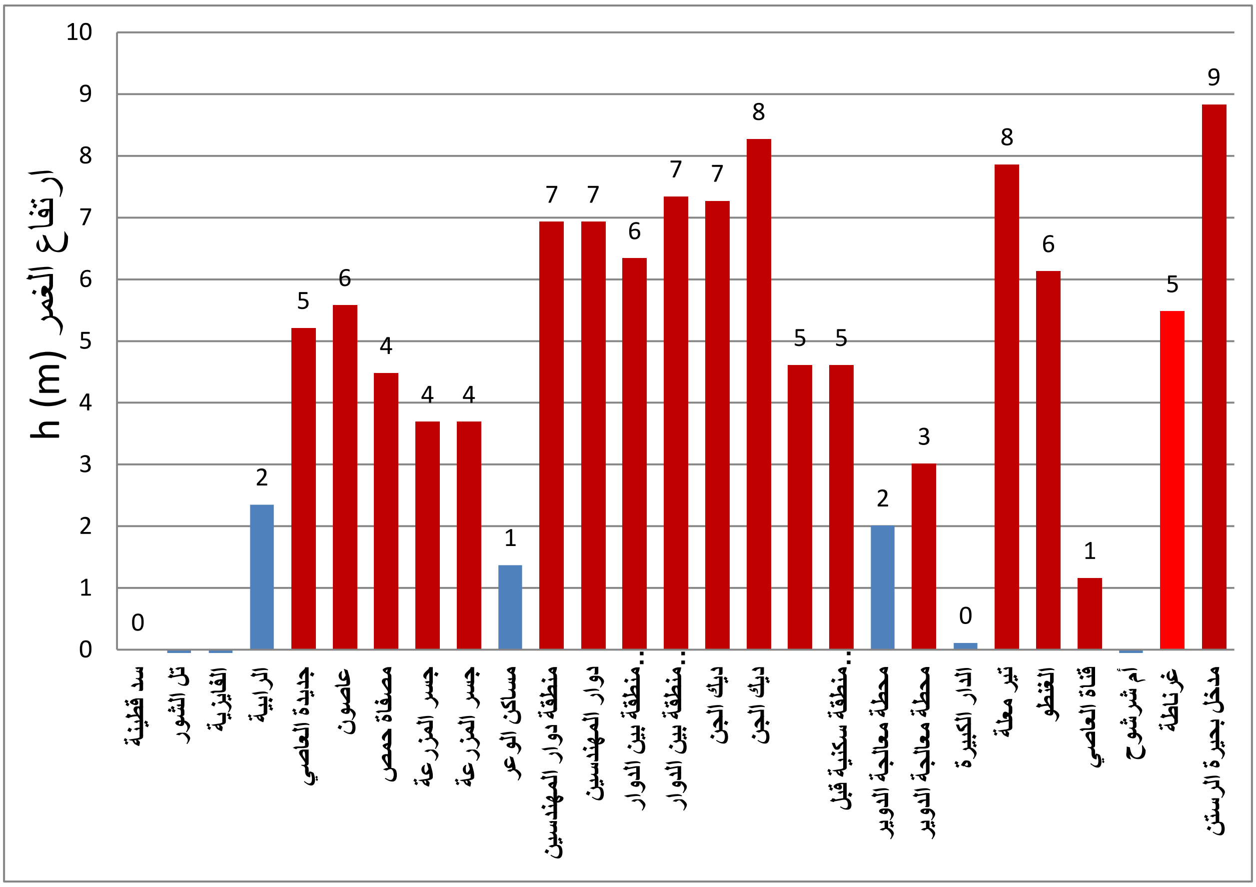


الشكل (3-19) علاقة التدفق الفيضاني الخارج من سد قطينة مع التدفق الداخل إلى بحيرة الرستن

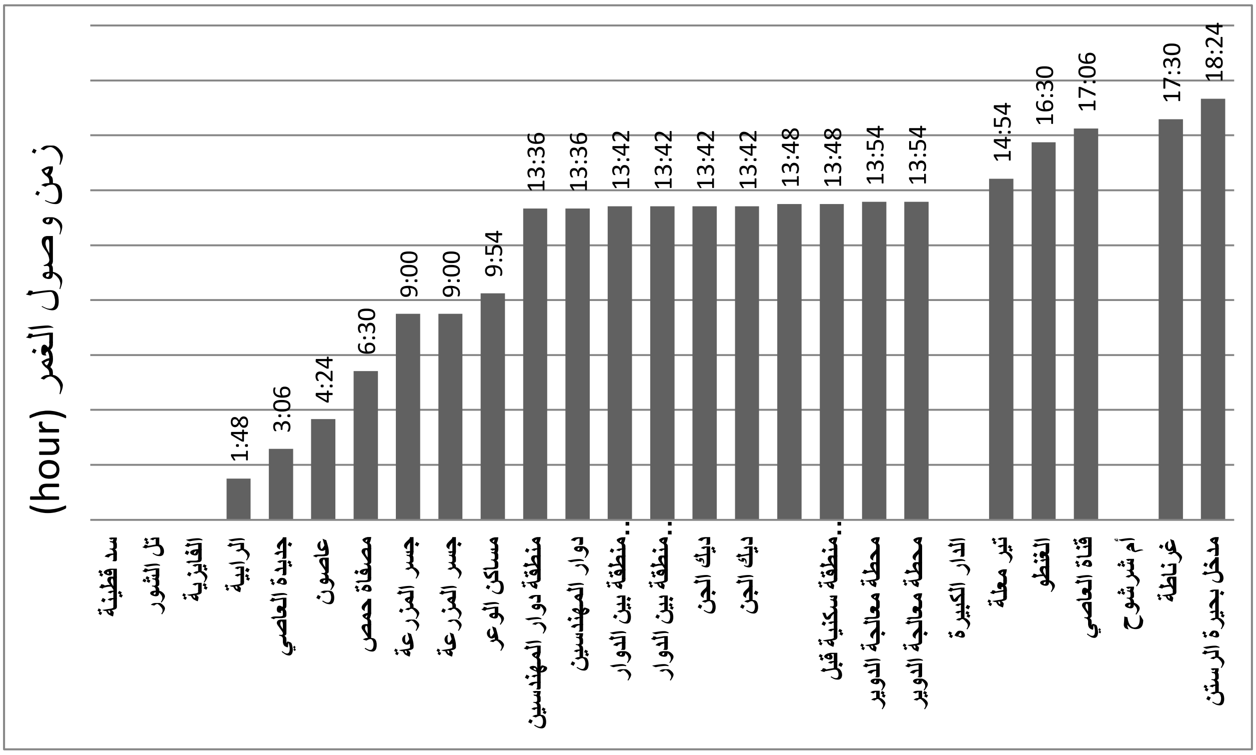
3-3-6 الأضرار الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد قطينة على القرى المنتشرة على ضفتي مجرى النهر

يبين الجدول (3-3) أهم القرى والمنشآت القريبة من مجرى نهر العاصي في الحوز السفلي لسد قطينة

اسم القرية	الضفة	بعد القرية عن السد (km)	منسوب أدنى (m)	WS max (m)	h max (m)	زمن وصول الغمر الأعظمي (hour)
تل الشور	اليمنى	2	496	491.1	-	_
الفايزية	اليسرى	2	495	494.9	-	_
الرابية	اليسرى	3	486	488.35	2	1:48
جديدة العاصي	اليمنى	4	481	486.21	5	3:06
عاصون	اليسرى	9	479	484.58	6	4:24
مصفاة حمص	اليسرى	12	479	483.48	4	6:30
جسر المزرعة	اليمنى	14	479	482.69	4	9:00
جسر المزرعة	اليسرى	14	479	482.69	4	9:00
مساكن الوعر	اليسرى	16	481	482.37	1	9:54
دوار المهندسين	اليمنى	17	473	479.93	7	13:36
دوار المهندسين	اليسرى	17	473	479.93	7	13:36
بين الدوار وديك الجن	اليمنى	18	473	479.34	6	13:42
بين الدوار وديك الجن	اليسرى	18	472	479.34	7	13:42
ديك الجن	اليمنى	19	472	479.27	7	13:42
ديك الجن	اليسرى	19	471	479.27	8	13:42
منطقة سكنية قبل المحطة	اليمنى	20	470	474.61	5	13:48
منطقة سكنية قبل المحطة	اليسرى	20	470	474.61	5	13:48
محطة معالجة الدوير	اليمنى	21	464	466.01	2	13:54
محطة معالجة الدوير	اليسرى	21	463	466.01	3	13:54
الدار الكبيرة	اليسرى	25	463	463.11	-	_
تير معلة	اليمنى	27	449	456.86	8	14:54
الغنطو	اليمنى	31	438	444.13	6	16:30
قناة العاصي	اليسرى	36	426	427.16	1	17:06
أم شرشوح	اليمنى	40	407	404.37	-	_
غرناطة	اليمنى	43	388	393.48	5	17:30
مدخل بحيرة الرستن		45	360	368.83	9	18:24



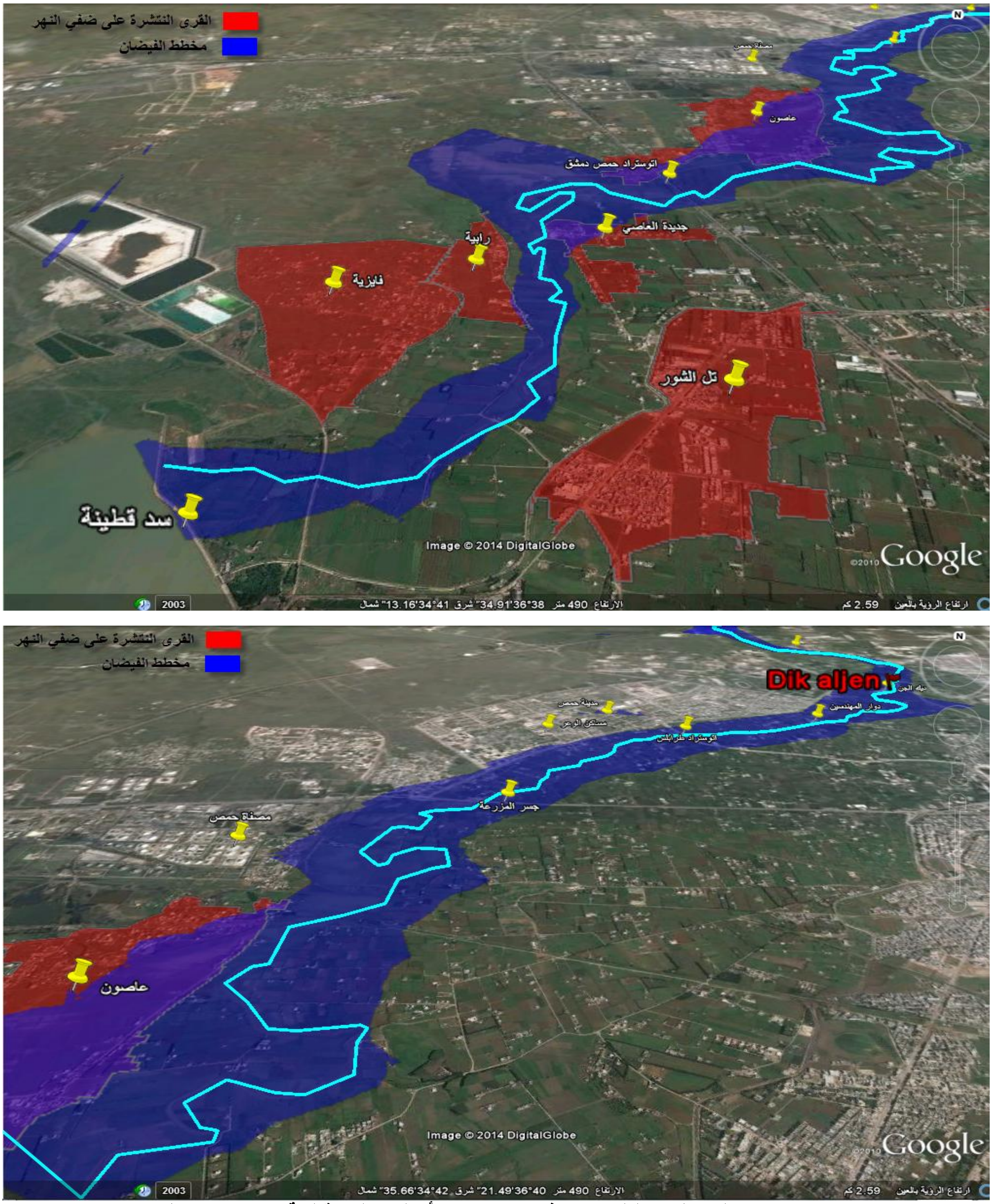
الشكل (3−20) ارتفاع الغمر في القرى المجاورة للنهر



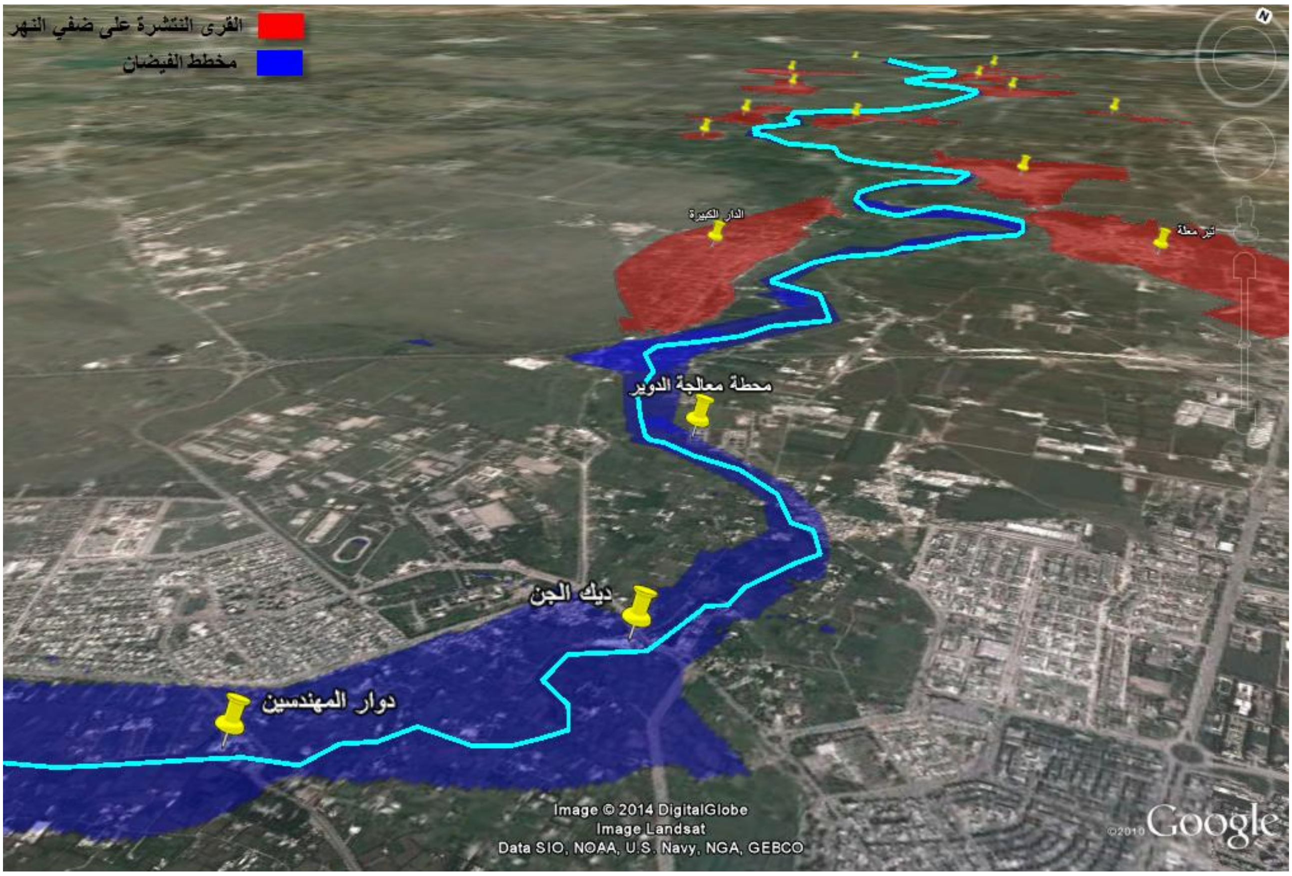
الشكل (3−21) زمن وصول الموجة الفيضانية إلى القرى المجاورة للنهر

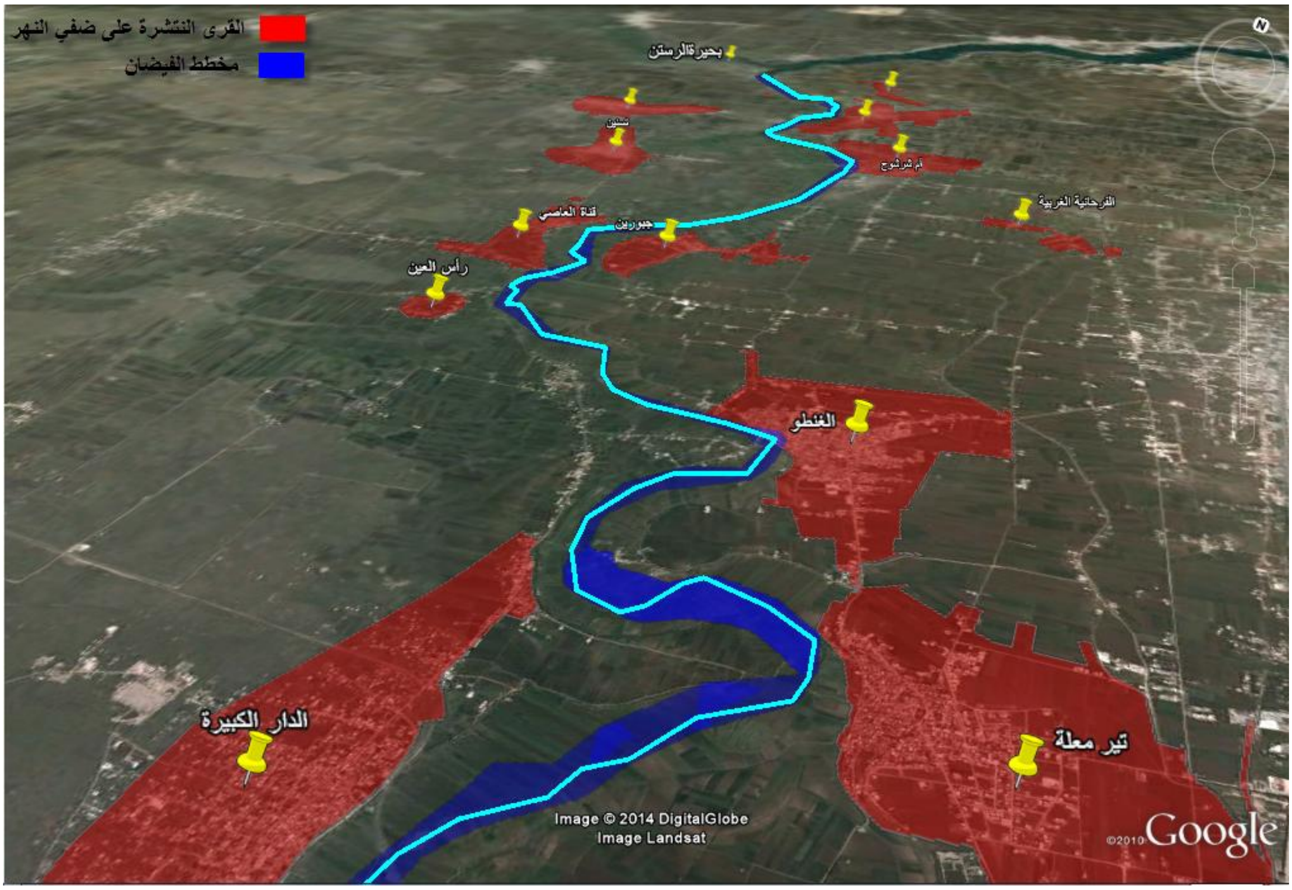
- مخطط الغمر ومساحات الغمر الأعظمية

تبين الصور الآتية مخطط الغمر ومساحات الغمر الناتجة عن الانهيار الافتراضي للسد ومدى تأثيرها على القرى والمنشآت المنتشرة على ضفتي مجرى النهر ضمن منطقة الدراسة



صورة (3-4) مخطط الغمر وفق السيناريو الأعظمي (سد قطينة إلى ديك الجن)





صورة (3-5) مخطط الغمر وفق السيناريو الأعظمي (من ديك الجن إلى الرستن)

3-4 الاعتبارات الأساسية لتحضير خطة عمل الطوارئ الخاصة بالسدود

3-4-1 تعريف خطة عمل الطوارئ لسد

خطة عمل الطوارئ لسد هي: الوثيقة الأساسية الرسمية التي تحدد حالات الطوارئ الكامنة للسد، وتحدد الإجراءات و الأعمال المخططة مسبقاً الواجب اتباعها لمنع أو التخفيف من حدوث خسائر في الأرواح و الممتلكات، كما أنها تحدد الأعمال التي يجب على مالك السد أن يتخذها لتلطيف وتخفيف المشاكل عند السد، حيث إن حالة الطوارئ لسد هي أية حالة غير متوقعة قد تنشأ أثناء تشغيل و استثمار السد و تعرض سلامته للخطر، مما قد ينجم عنها انهيار للسد، أو إطلاق كميات كبيرة من المياه تبعاً لظروف الاستثمار، الأمر الذي يعرض القاطنين في منطقة الحوز السفلي للسد للغمر و ما ينجم عن ذلك من خسائر في الأرواح والممتلكات، كما تحوي خطة عمل الطوارئ على المعلومات الأساسية التي تساعد في إصدار إنذار (تحذير) مبكر ورسائل إعلام إلى سلطات إدارة الطوارئ عن حدوث حالة طارئة ، بالإضافة الى خرائط الغمر التي تبين لسلطات إدارة الطوارئ المناطق الحرجة من أجل العمل في حالة طوارئ[62].

3 4 2 أسباب إعداد خطة عمل الطوارئ لسد

يوجد عموماً ثلاثة أسباب رئيسة تدعو إلى إعداد خطة عمل الطوارئ لسد و هي[64,66]:

أ – وضع خطة تنسيق مسبقة للأعمال الضرورية التي يجب أن يقوم بها مالك السد والجهات والمنظمات المسؤولة عن إدارة عمليات الطوارئ، و للإشعار أو التحذير و الإخلاء في الوقت المناسب في حال حدوث حالة طارئة للسد.

ب – المنع أو التخفيف من الأضرار في الأرواح و الممتلكات للقاطنين في منطقة الحوز السفلي للسد المحتمل تأثرهم عند انهيار السد، و نشير هنا إلى أن التصميم و التنفيذ الصحيح للسد بالإضافة إلى المراقبة و الفحص و الصيانة الدورية له تُعد من العناصر الضرورية و اللازمة للتقليل من احتمال خطر الانهيار في المستقبل، إلا أن إهمال ذلك قد يشكل سبباً في انهيار السد و بالتالي تقع مسؤولية تحديد الحالات الخاصة الطارئة للسد على عاتق الجهة المشرفة على استثماره و صيانته و مراقبته.

ج – تُعد خطة عمل الطوارئ لسد إحدى متطلبات الجهات المسؤولة عن إدارة حالات الطوارئ في المحافظة التي يتبع لها السد.

3-4-3 العناصر الأساسية الستة لخطة عمل الطوارئ

تُعد المكونات(ستُشرح لاحقاً)، العناصر الأساسية لتحضير خطة عمل الطوارئ وتعديلها من أجل جميع السدود ذات الخطر الكامن العالي، أي تلك السدود التي يُحتمل أن تسبب خسائر في الأرواح وأضرار في الملكية في حالة انهيارها، و حيث أن تأثر منطقة الحوز السفلي تختلف حسب حجم تخزين و موقع السد،

وبالتالي احتمال الخسائر في الأرواح كنتيجة لانهيار أو تشغيل السد سيختلف أيضاً، لذلك و عند إعداد خطة عمل الطوارئ لسد يجب أخذ شروط الموقع المحدد للسد بعين الاعتبار، و فيما يلي العناصر الستة التي تعتبر المكونات الأساسية لخطة الطوارئ اللازمة لإدارة كارثة انهيار سد [62]:

1. **المخطط التدفقي للإشعار (الإبلاغ):** يبين المخطط التدفقي للإشعار من الذي يجب ملاحظته، ومن قِبَل من، ومن له الأولوية ، حيث إن المعلومات على المخطط التدفقي للإشعار ضرورية من أجل الإشعار في الوقت المناسب للأشخاص المسؤولين عن اتخاذ أعمال الطوارئ.
2. **تحري وتقدير وتصنيف الطوارئ:** يعتبر الكشف والتقدير المبكر للحالات والحوادث الناشئة التي تبدأ أو تتطلب عمل طوارئ أمراً في غاية الأهمية، حيث إن تحديد مستوى الحالة الطارئة في الوقت المناسب يُعد أمراً أساسياً في اتخاذ الإجراءات اللازمة اعتماداً على ضرورة الحالة ، و بالتالي فإن تنشيط خطة الطوارئ بعد تحديد مستوى الطوارئ أفضل من الانتظار و بالتالي حدوث الحالة الطارئة.
3. **المسؤوليات:** يجب تحديد المسؤوليات من أجل المهمات المتعلقة و الواردة في خطة الطوارئ ، كما يجب تحديدها خلال عملية تعديل الخطة و تحديثها و تطويرها وكذلك تطبيقها ، حيث إن مسؤولية التحذير والإخلاء ضمن المناطق المتأثرة من الناحية القانونية تقع على عاتق الدفاع المدني في المحافظة بالدرجة الأولى، و بالتالي يجب أن تحدد خطة عمل الطوارئ بوضوح مسؤوليات مالك السد لضمان التنسيق الفعال و بالتالي انجاز الأعمال في الوقت المناسب عند حدوث حالة طارئة.
4. **الاستعداد:** تتخذ أعمال الاستعداد لتلطف من الآثار الناجمة عن انهيار سد وتخففها ، أو عند إطلاق كميات كبيرة من المياه ، ولتسهل الاستجابة لحالات الطوارئ.
5. **خرائط الغمر:** يجب أن ترسم خريطة الغمر المناطق التي ستكون عرضة للفيضان كنتيجة لانهيار سد، حيث تستخدم خرائط الغمر من قبل كل من مالك السد، وموظفي إدارة الطوارئ لتسهيل الإشعار في الوقت المناسب وإخلاء المناطق المتأثرة بانهيار سد أو حالة فيضان، هذه الخرائط تسهل لدرجة كبيرة الإشعار عن طريق عرض بياني للمناطق المعرضة للفيضان وبيان زمن وصول الغمر، وعمق الغمر في المناطق المختلفة في الحوز السفلي.
6. **الملاحق:** تحوي الملاحق على معلومات تكمل الجزء الأساسي من خطة الطوارئ، وتساعد في تعديل خطة الطوارئ وتحديثها وتطويرها.

3-4-4 محتويات خطة عمل الطوارئ الخاصة بالسدود

نقترح أن تكون محتويات خطة عمل الطوارئ مؤلفة من صفحة الغلاف، و جدول المحتويات، ومجموعتين من الملاحق.

1- صفحة العنوان / صفحة غلاف خطة عمل الطوارئ.

الهدف من صفحة العنوان أو صفحة الغلاف لخطة عمل الطوارئ هو تحديد الوثيقة الخاصة بسد معين، حيث أن لكل سد شروطاً و ظروف خاصة بموقعه يجب مراعاتها عند إعداد خطة عمل الطوارئ.

2- جدول المحتويات

يضم قائمة بجميع البنود الرئيسية المحتواة في خطة عمل الطوارئ متضمنة المخططات التدفقية و الأشكال و الجداول.

3- الملاحق و تحتوي على جزأين:

أ - تحليل فيضانات انهيار السد و تضم:

(1) المنهج المتبع في تحليل انهيار السد .

(2) الحالات المختلفة لتدفقات المياه .

ب - خطط من أجل التدريب ، التمارين ، تحديث و إرسال خطة عمل الطوارئ

3-4-5 النموذج المقترح لمحتويات خطة عمل الطوارئ الخاصة بالسدود (قطينة نموذجاً)

1- غلاف خطة الطوارئ

نقترح النموذج التالي : غلاف لخطة الطوارئ:

خطة الطوارئ لسد........

رقم السد: ....

يتم إضافة خارطة تبين موقع السد بالنسبة للمواقع المحيطة به

يتم إضافة خارطة تبين موقع السد

إعداد :................. تحديث:.................

اسم المديرية التي يتبع لها السد :..............................

التاريخ:..

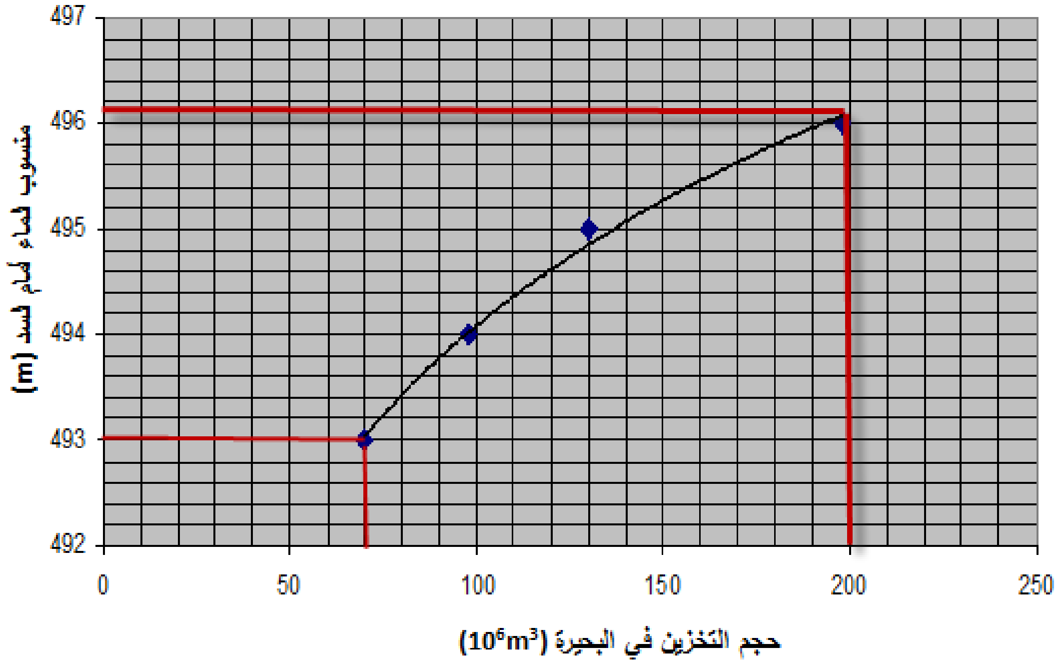
نسخة .... من ....

2- خرائط الغمر

دُرست حالتان من حالات الانهيار الافتراضي لسد قطينة وُوضعَت خرائط الغمر لهاتين الحالتين:

1- انهيار افتراضي لسد قطينة وفق السيناريو الأكثر خطورة (حالة تخزين أعظمي $200\ m\ m^3$) ارتفاع الماء أمام السد 6m .

2- انهيار افتراضي لسد قطينة وفق السيناريو الآمن (حالة تخزين $70\ m\ m^3$) ارتفاع الماء 3m أمام السد مع ملاحظة أن حالة التخزين هذه أُعتبرت موافقة للسيناريو الآمن حيث إن ارتفاع الغمر الناجم عن حدوث الانهيار الافتراضي عندما يكون حجم الماء خلف السد موافقاً لهذا الحجم لا تؤدي إلى ضحايا بشرية (ارتفاع الغمر أقل من 3m في المناطق التي تقع في الحوز السفلي خلف السد).



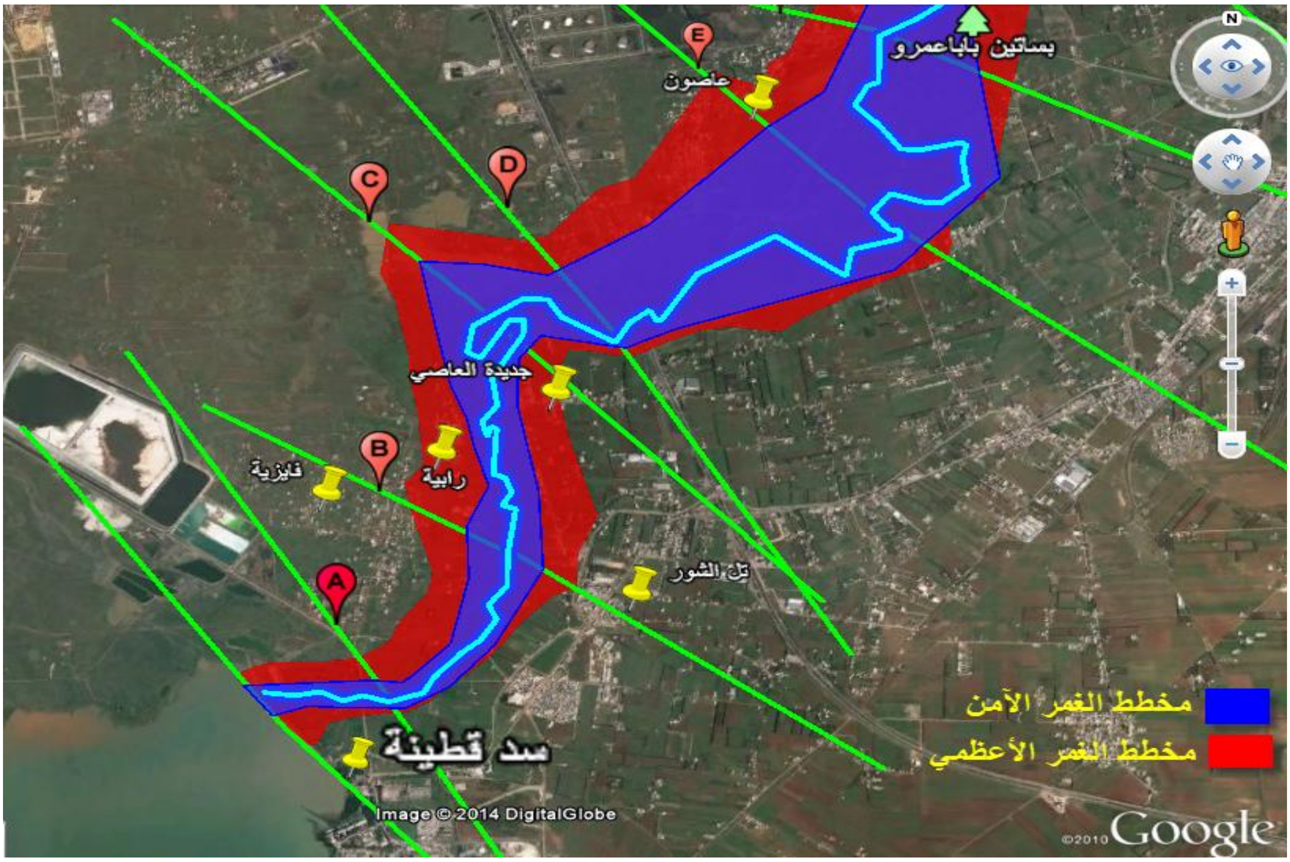
الشكل (3-22) المنحني النظري لحجم التخزين أمام سد قطينة

- **<u>خرائط الغمر وفق السيناريوهات المدروسة</u>**

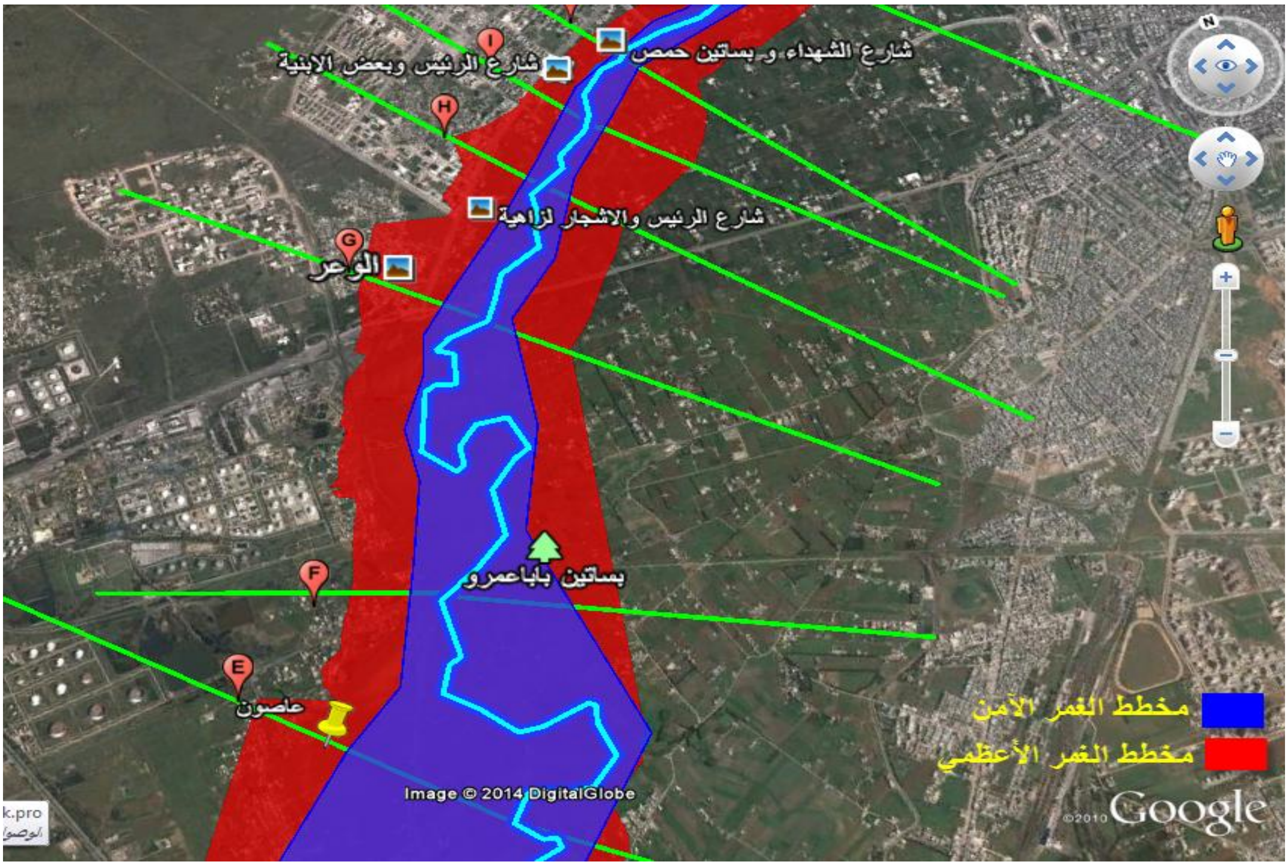
يبين الجدول (3-4) مثال عن البيانات الواجب تضمينها في مخططات الغمر اللازمة لإعداد خطة الطوارئ وهي (تحديد بعد المقطع المدروس عن السد المدروس، قيمة التدفق الفيضاني الواصل إلى المقطع المدروس من جراء انهيار السد، ارتفاع الغمر الأعظمي وفق السيناريوهات المدروسة، زمن وصول الموجة الفيضانية إلى المقطع المدروس، صور مرفقة توضح مكان المقطع والقرى والمنشآت المجاورة).

جدول (3–4) بيانات خرائط الغمر وفق سيناريوهات الانهيار

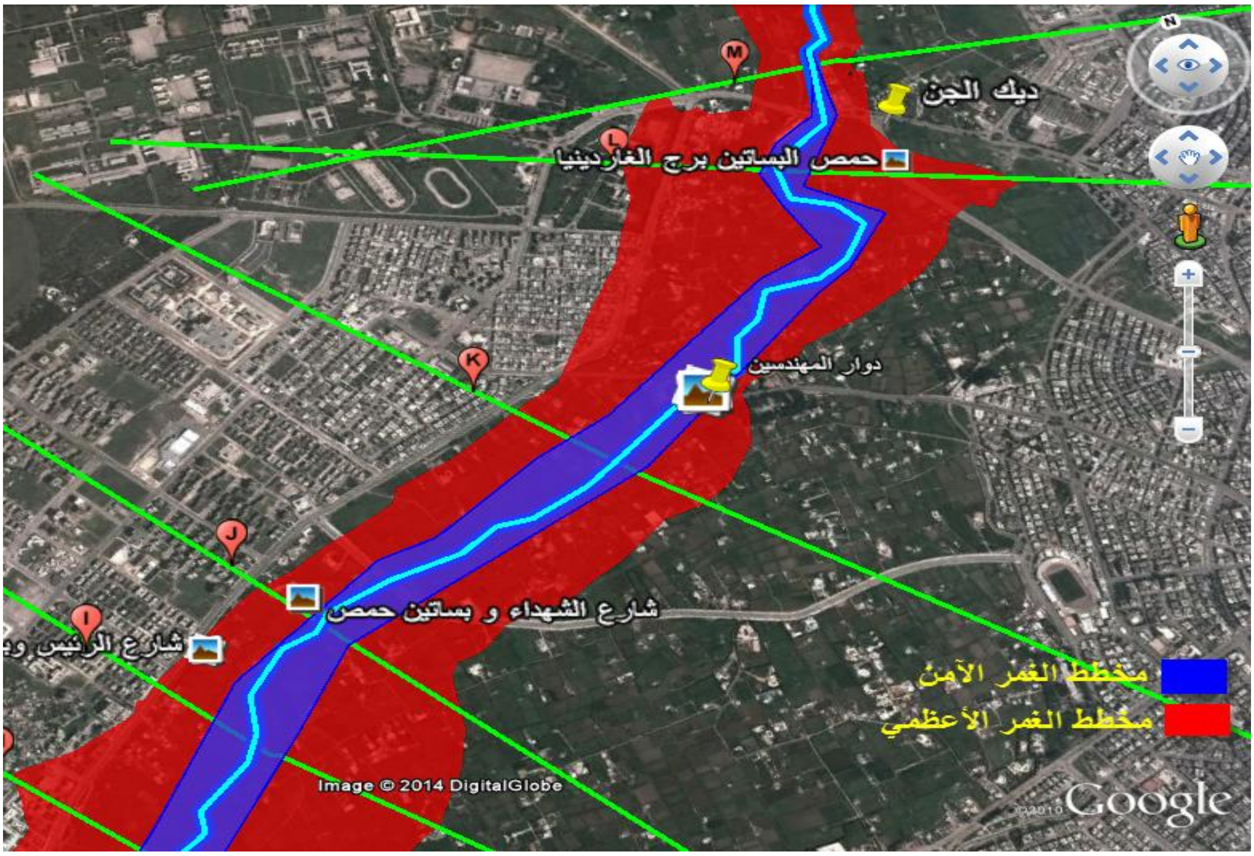
رقم المقطع	منسوب الضفاف (m)	بعد المقطع عن سد قطينة (Km)	Q (m^3/S)	h(m)	زمن الوصول (hour)	Q (m^3/S)	h(m)	زمن الوصول (hour)	ملاحظات
			السيناريو الآمن			السيناريو الأخطر			
A	489	1,14	311	0.03	-	3854	3.3	-	صورة 1
B	483	2,49	253	1.97	-	2979	5.31	-	
C	481	6,07	235	1.84	11	2643	3.32	3	
D	481	6,16	235	1.33	11	2496	3.55	3	
E	481	8,75	232	0.36	13	1579	3.13	4	صورة 2
F	479	11,09	226	1.66	15	1534	4.99	5	
G	480	14,12	225	-0.66	17	1518	3.81	6	
H	477	15,40	225	1.21	17	1518	6.77	6	
I	477	15,89	225	0.42	17	1517	6.75	6	
J	476	16,34	225	0.97	17	1517	7.73	10	صورة 3
K	474	17,58	225	0.7	18	1496	4.96	10	
L	472	19,317	225	1.59	18	1496	6.89	12	
حجم التخزين الأضافي في بحيرة الرستن $(10^6\ m^3)$			44.3			165.5			



صورة (3–6) مخططات الغمر وفق سيناريوهات الانهيار المدروسة



صورة (3−7) مخططات الغمر وفق سيناريوهات الانهيار المدروسة



صورة (3−8) مخططات الغمر وفق سيناريوهات الانهيار المدروسة

3-5 النتائج

نتائج سيناريوهات الفيضان المدروسة تبين الآتي:

السيناريو	التدفق $Q(m^3/S)$	ارتفاع الغمر الأعظمي h(m)	الحجم الواصل إلى الرستن $V(10^6\ m^3)$	زمن الوصول (hour)	درجة الخطر
الأول	200	1.5	23	9	متوسط
الثاني	500	3	40	9	خطر
الثالث	1000	>3	80	9	خطر جداً(مدمر)

1- نلاحظ أن بداية وصول التدفق الفيضاني إلى سد الرستن هو تقريباً بعد تسع ساعات من بداية الفيضان وبالتالي نقترح الاستفادة من هذه النتيجة لوضع سيناريو تفريغ كمية من مياه سد الرستن خلال 9 ساعات لتخفيف الضغط عن سد الرستن.

2- نلاحظ أن الآثار الناجمة عن الفيضان (السيناريو الثالث) ذات آثار تدميرية فقد تجاوز ارتفاع الغمر (3 m) في كثير من المناطق المأهولة بالسكان (خصوصاً من سد قطينة حتى جسر ديك الجن).

3- قد تكون بعض المنشآت المقامة على مجرى النهر عرضة للانهيار في السيناريو الثاني والثالث للفيضان حسب عمق التأسيس فيها مثل (جسر ديك الجن – جسر كنجية بالقرب من غجر أمير) حيث نلاحظ أن سرعة الفيضان عندها تجاوزت 2m/S مع استمرارية للغمر تجاوزت (10 hour) وبالتالي يزداد احتمال انهيارها مما يؤدي إلى تفاقم الآثار السلبية خلف هذه المنشآت بسبب احتواء مياه الفيضان على مختلف أنواع الحصى والحجارة والأتربة الناجمة عن مخلفات انهيار هذه المنشآت.

نتائج الانهيار الافتراضي لسد قطينة وفق السيناريو الأخطر (حالة التخزين الأعظمي)

4- نلاحظ من مخططات الغمر الناتجة من حالة الانهيار الافتراضي للسد أنه أصبح من السهل معرفة:

- قيمة التدفق الأعظمي الواصل إلى كل مقطع (أو محطة) من المقاطع المدروسة ضمن منطقة الدراسة خلف السد وزمن وصوله من جراء الانهيار الافتراضي لسد قطينة.
- قيمة منسوب الغمر الأعظمي في كل مقطع وزمن وصوله.
- العرض الأعظمي لمنطقة الغمر في كل مقطع.

5 -استناداً إلى ماسبق يمكن تزويد المديريات المسؤولة عن السد في المحافظة بمخططات الغمر خلف السد وبالتالي الاستناد إليها في وضع خطة إنذار وتبليغ و وتحديد جهة الإخلاء في حالة الانهيار لتلافي أو التخفيف من الآثار الناجمة عن الانهيار.

6 -نلاحظ من الشكل (3–10) إن الموجة الفيضانية الناتجة عن الانهيار الافتراضي لسد قطينة تكون بقيمتها العظمى خلف السد مباشرة ثم تتخامد إلى حوالي النصف على بعد 11km من السد ثم يكون التخامد بنسب أقل كلما ابتعدنا عن السد.

7 -نلاحظ من الجدول (3–4) ومن مخططات الغمر أنه عند منسوب تخزين (493 m) أي إذا كان ارتفاع الماء أمام السد (3 m) كانت الخسائر البشرية قليلة أو شبه معدومة حيث يتبين من المخطط عدم غمر المناطق المأهولة بالسكان وعدم تجاوز ارتفاع الغمر الأعظمي (3m) ولكن هناك خسائر مادية.

8 -نلاحظ أن الحجم المضاف إلى حجم التخزين الطبيعي في بحيرة الرستن من جراء التدفق الفيضاني الواصل إليها نتيجة الانهيار الافتراضي في السيناريو الأخطر والحالة التخزينية العظمى تصل إلى (165.5 m m^3) بينما تصل قيمة هذا الحجم في السيناريو الثاني الآمن إلى (44 m m^3) والفرق كبير بين القيمتين،

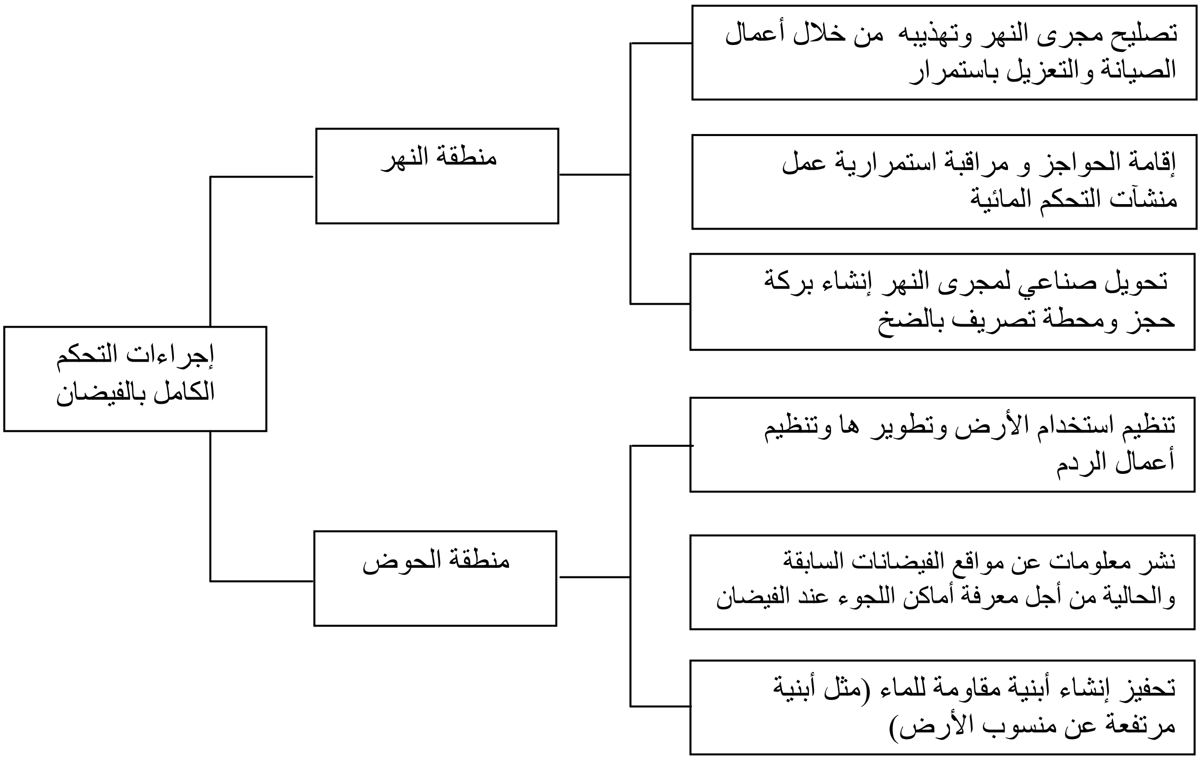
9 -ينصح بتفريغ السد إلى المنسوب (493 m) إذا كان هناك تنبؤ باحتمال حدوث الانهيار فقد تبين من الدراسة ومن مخططات الغمر أنه سيخفف كثيراً من أثار الانهيار سواء على سد الرستن أو المناطق الواقعة خلف سد قطينة كما ذكر في النتيجتين السابقتين.

الفصل الرابـع

إجراءات للتحكم بالفيضان والتخفيف من آثاره

4-1 إجراءات التخفيف من آثار الموجة الفيضانية

❖ إجراءات عملية: تشمل إجراءات على صعيد منطقة النهر وإجراءات في منطقة الحوض الفيضاني والشكل (4-1) يوضح هذه الإجراءات [22,28]



الشكل (4-1) إجراءات التحكم بالفيضان الناجم عن انهيار سد

❖ إجراء معلوماتي [28]:

المقصود من هذا الإجراء توفير معلومات حول الفيضانات بهدف زيادة توعية السكان حول منطقة الفيضانات، وكمثال على الإجراءات المعلوماتية الحقيقية، توفير خريطة مخاطر (غمر) تشتمل على معلومات عن الفيضان والهدف من توفير هذه المعلومات تقليل الخسائر البشرية وقت حدوث الفيضان الشكل (4-2).



الشكل (4-2) خريطة الأخطار عند نهر ناكاغاوا في الصين

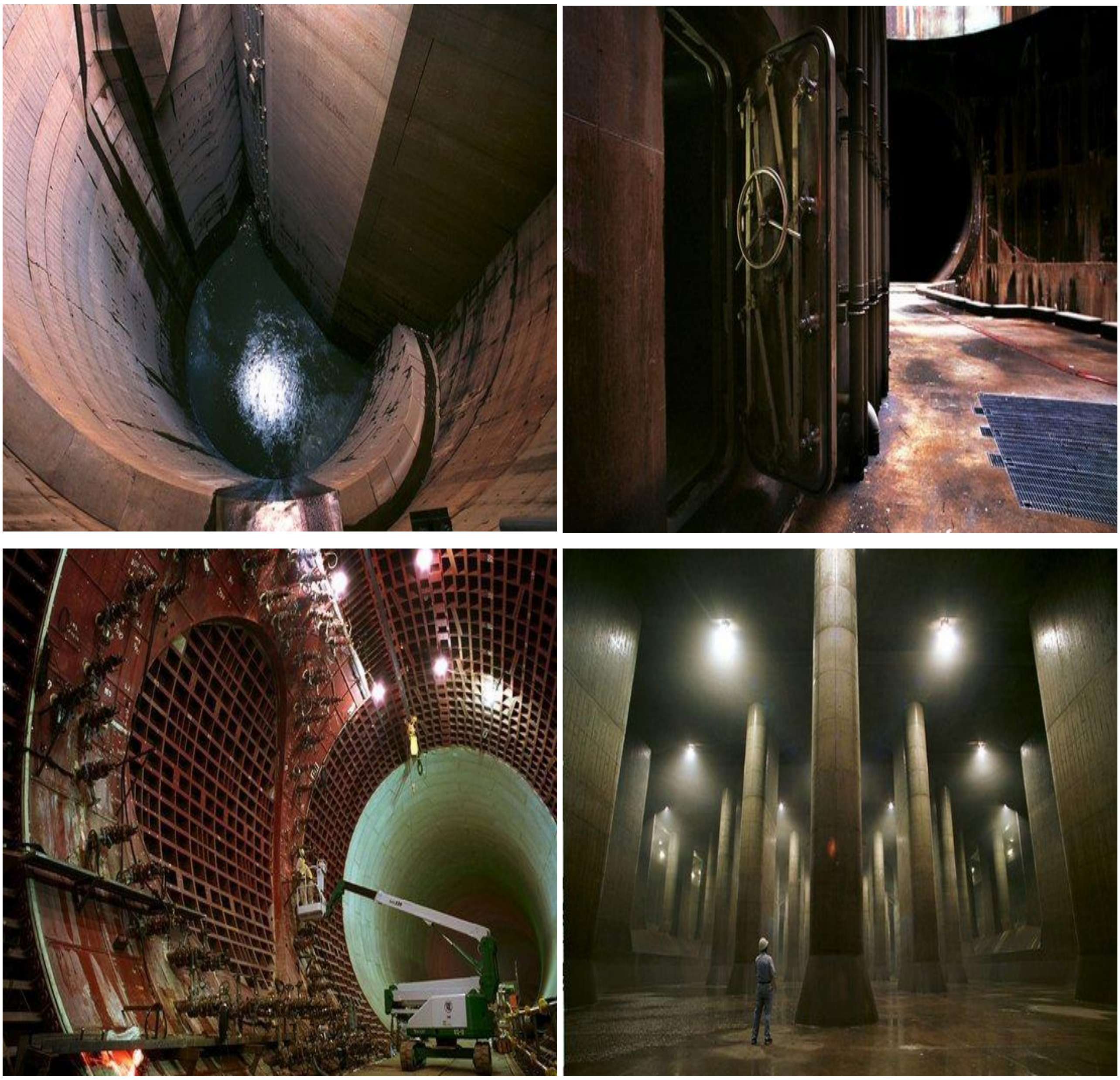
4-2 إجراءات بعض الدول للتحكم بالفيضان

4-2-1 طرق السيطرة على مياه الفيضان في اليابان [68]:

قامت الحكومة اليابانية في طوكيو بمشروع ضخم تحت الأرض هو عبارة عن مستوعبات ضخمة تنفتح عند الفيضان وتضخ الماء بعدها عند انحسار النهر وانقطاع المطر.

تدعى هذه المستوعبات الضخمة (المستوعبات- جي) بدأ العمل بها في العام 1992 وانتهى 2009 وكلفت 2 بليون دولاراً لكنها سيطرت على الأنهار الأربعة التي تخترق طوكيو.

بعض الصور لهذه المستوعبات.



صورة (4-1) مستوعبات جي في طوكيو

4-2-2 طرق السيطرة على مياه الفيضان في لندن [61]:

أقامت الحكومة في لندن سلسلة من البوابات الفولاذية المتحركة، لتشكل حواجز للفيضانات الساحلية على طول نهر التايمز، حيث تدور هذه البوابات حول دعامات إسمنتية، وتُغمر تحت الماء في بطن النهر عند عدم الحاجة إليها بحيث لا تعطل حركة الملاحة في النهر. وعند اقتراب حدوث مد مرتفع، تقوم الجهات المعنية بإصدار تحذير، لرفع تلك البوابات، لتمنع المياه من اجتياح مدينة لندن، وقد اكتمل بناء هذا المشروع عام 1982م.

4-2-3 طرق السيطرة على مياه الفيضان في الصين [52]

تقوم الصين بتصنيع سلل مربعة من الأسلاك الفولاذية تملئ بالحجر والرمل وتوضع فوق بعضها البعض لتشكل حاجز حماية مؤقت من الفيضان.

هذه الحواجز المؤقتة تتميز بمقاومة الظروف القاسية وتتحمل المياه لفترة طويلة.

بعض الصور للسلل الفولاذية وحواجز الحماية المؤقتة.



صورة (4-2) سلل فولاذية وحواجز الحماية المؤقتة في الصين

4-2-4 طرق السيطرة على مياه الفيضان في العراق [44]:

- مقطع نهر دجلة عند مدينة بغداد لا يتحمل التصاريف العالية، وبالتالي من أجل السيطرة على التدفقات الفيضانية تم تحويل تصريف قدره ($8300\ m^3/S$) من خلال سد (ناظم الثرثار) الى بحيرة الثرثار وتمرير ($1000m^3/S$) من سد سامراء وبالتالي حماية مدينة بغداد والمدن الجنوبية من الفيضان
- أما بالنسبة لنهر الفرات فقد وصله تدفق فيضاني قدره ($1000m^3/S$) إلى سد حديثة وبسبب تقليص مقطع نهر الفرات في معظم مواقعه نظراً للنقص في أجهزة الحفر والتعزيل ونتيجة للظروف التي مرت على العراق فقد فرض الموقف المذكور تحويل تصريف قدره ($600m^3/S$) باتجاه بحيرة الحبانية والسماح بتصريف ($400m^3/S$) من سد الرمادي وبالتالي تحققت الحماية للسكان والمدن للمنطقة الممتدة من خلف السد ولغاية مصب نهر الفرات .

4-3 الإجراءات والحلول المقترحة للتخفيف من الآثار السلبية للموجة الفيضانية الناتجة عن انهيار افتراضي لسد قطينة

4-3-1 الإجراء الأول: التخفيف من آثار الموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار سد قطينة انطلاقاً من العناصر الهيدروليكية للموجة

وُضِعت حلول للتخفيف قدر الإمكان من الآثار السلبية للموجة الفيضانية وذلك انطلاقاً من العناصر(عناصر الموجة الفيضانية) المؤثرة على المعادلة العامة التي تدرس الانهيار.

الحلول المدروسة:

- زيادة معامل خشونة ضفاف المجرى (معامل مانينغ للضفاف n) من خلال زراعة أشجار عميقة الجذور.

حيث تمتص جذور تلك الأشجار المياه من التربة فتجعل التربة أكثر جفافاً فتصبح أكثر قابلية على استيعاب المياه كما تحافظ على تماسك التربة وثباتها وتقلل من حركة الطمي والرواسب تلك الرواسب التي تعيق مجرى النهر (تقلل من عمقه فيتسع لكميات أقل من المياه فيفيض من أقل زيادة في منسوب المياه)[51].

لذلك فإن عدم وجود الأشجار بالقرب من مجاري الأنهار أدى إلى غياب أحد أهم مستهلكي المياه، كما أدى إلى تفكك التربة وجرفها بسهولة إلى مجرى النهر وبالتالي حدوث الطمي والرواسب في النهر[19] .

<u>خطوات الحل المقترح:</u>

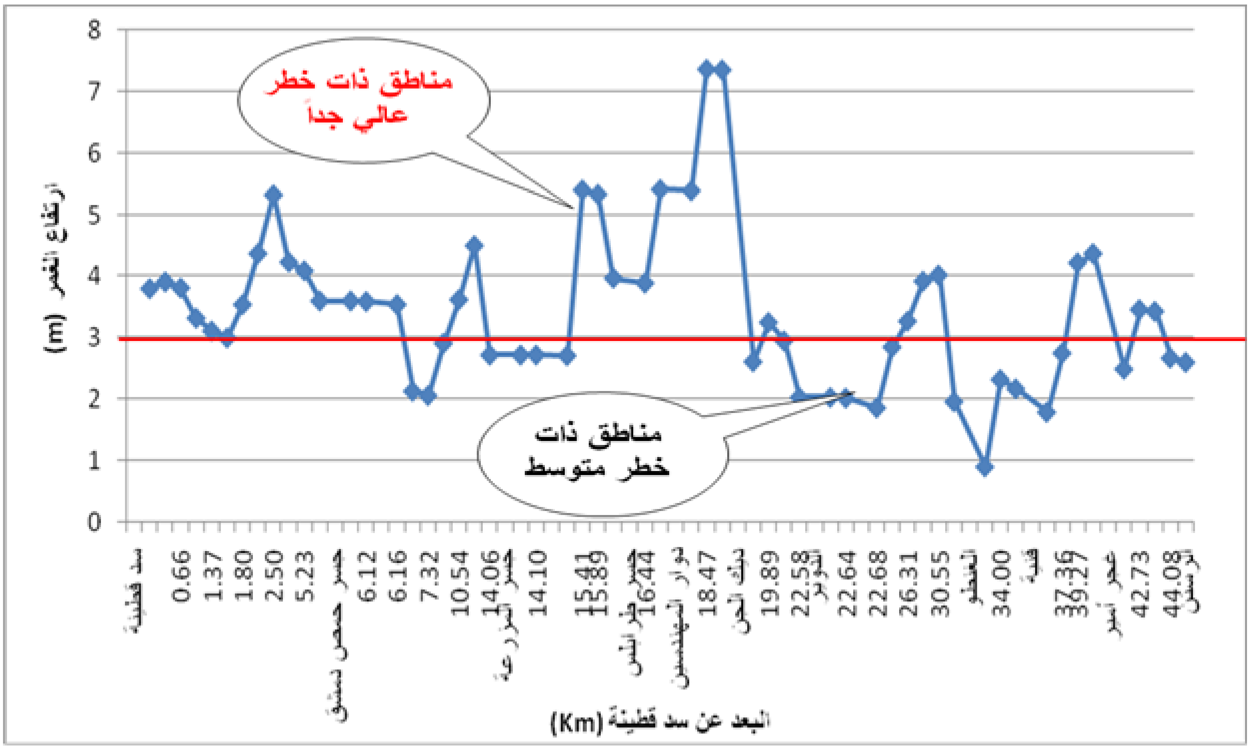
1 –**تحديد المنطقة التي سيتم فيها تطبيق الحل المقترح (المنطقة ذات الخطر العالي جداً)** وذلك بالاستفادة من مخططات الغمر لمنطقة الدراسة حيث تم تصنيف المناطق المتأثرة بالموجة الفيضانية وفق عدة معايير

❖ معيار ارتفاع الغمر[29,45] موضح في الشكل (4-3)

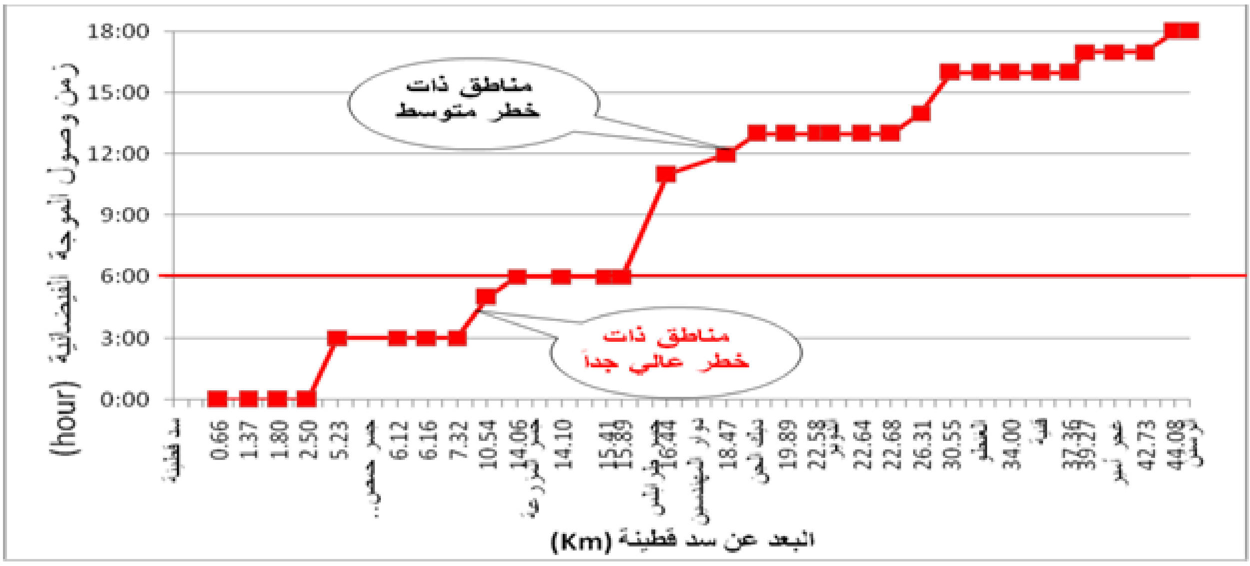
- مناطق ذات خطر عالٍ جداً (ارتفاع الغمر > 3m)
- مناطق ذات خطر متوسط (ارتفاع الغمر < 3m)

❖ معيار زمن وصول الموجة الفيضانية [45],[29] موضح في الشكل (4-4)

- مناطق ذات خطر عالٍ جداً (زمن وصول الموجة الفيضانية < 6 (hour))
- مناطق ذات خطر متوسط (زمن وصول الموجة الفيضانية > 6 (hour))



الشكل (4-3) ارتفاع الغمر في كل مقطع من منطقة الدراسة

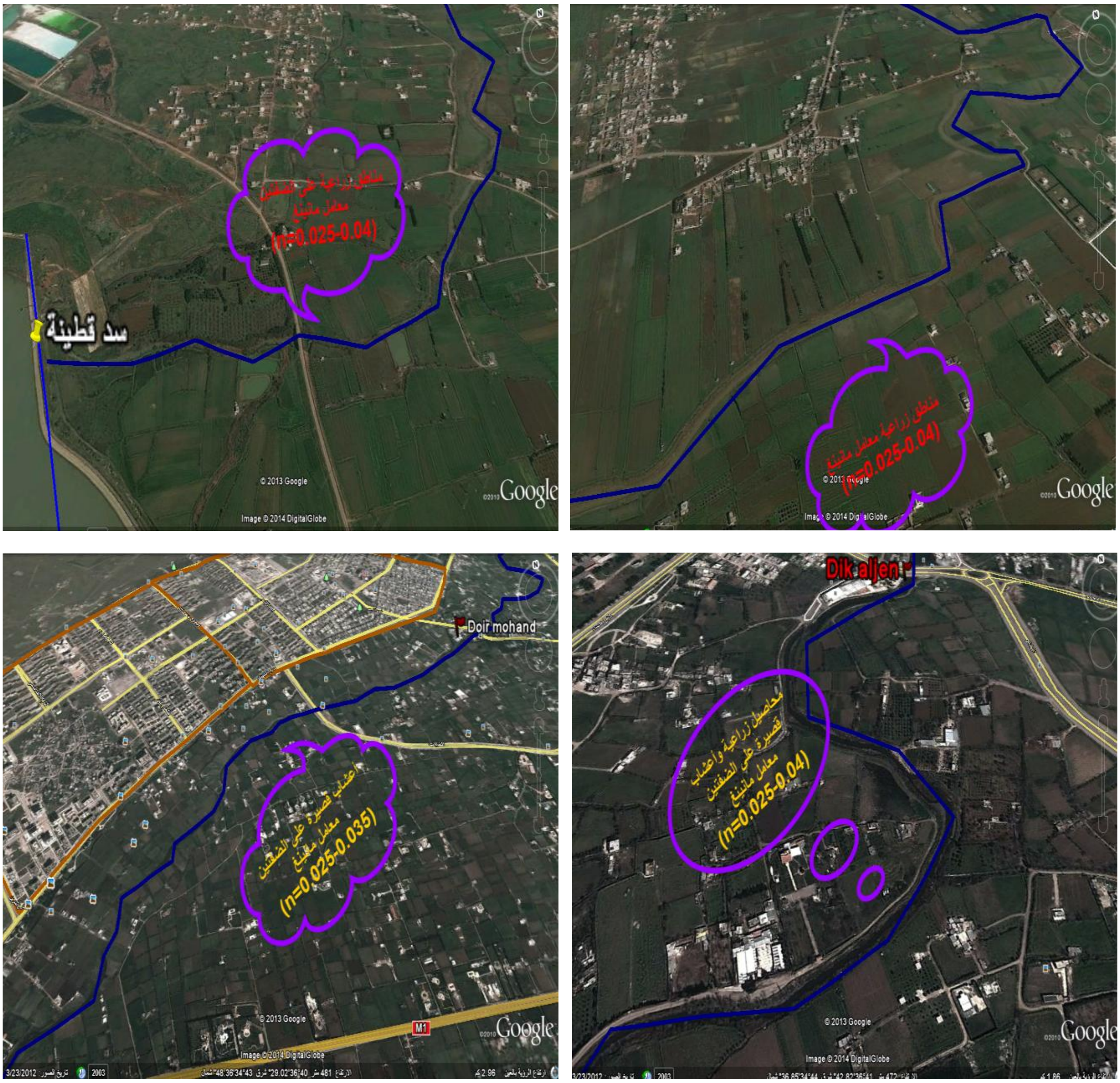


الشكل (4-4) زمن وصول الموجة الفيضانية إلى كل مقطع من منطقة الدراسة

ووفقاً للمعيارين السابقين والموضحين بالأشكال السابقة اختيرت المنطقة ذات **الخطر العالي جداً** (المنطقة من سد قطينة حتى منطقة ديك الجن) لإجراء الدراسة وحمايتها من الفيضان وتطبيق الحلول المقترحة عليها.

2 –توصيف طبيعة الضفاف المحيطة بمجرى النهر ضمن هذه المنطقة وتحديد معامل مانينغ لها:

توضح الصور الجوية (4–3) الخاصة بمنطقة الدراسة طبيعة الضفاف ونوعية الغطاء النباتي الذي يغطي هذه الضفاف المعرضة للغمر في حالة انهيار السد.



صورة (4–3) توصيف ضفاف مجرى النهر ضمن منطقة الدراسة

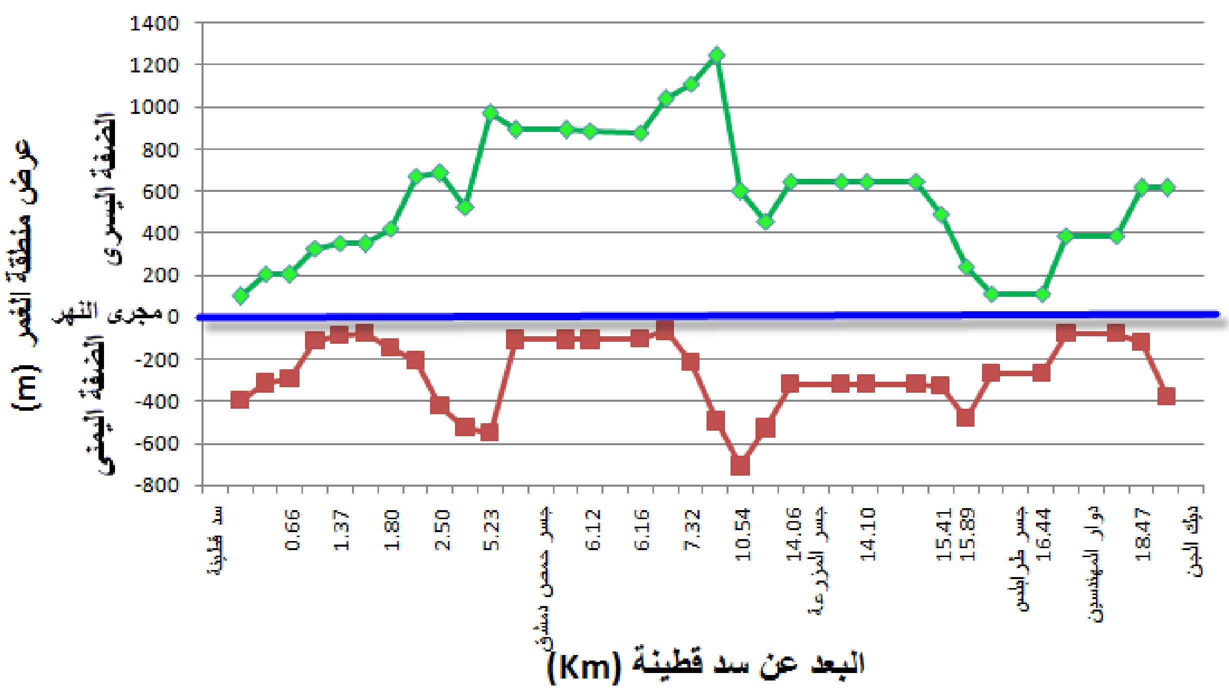
من الصور السابقة نلاحظ أن المنطقة ذات طبيعة متشابهة على الضفتين ومعامل مانينغ بالحالة الطبيعية للضفاف يساوي وسطياً ($n = 0.03 – 0.035$).

3 اقتراح تشجير المنطقة

إذا تم تشجير المنطقة ذات الخطر العالي جداً ترتفع قيمة معامل مانينغ للضفاف حيث إن معامل مانينغ للأشجار ذات الجذور العميقة يساوي (n=0.05)

<u>مواصفات منطقة التشجير:</u>

- طول المنطقة (20 Km) من سد قطينة إلى ديك الجن
- عدد صفوف الأشجار بمعدل (4-5) صفوف حسب عرض منطقة الخطر العالي جداً وهي مبينة بالشكل (4–5) الذي يبين عرض مساحات الغمر الأعظمية وفق السيناريو الأخطر لانهيار سد قطينة (السد بالحالة التخزينية العظمى).
- التباعد بين الأشجار في الصف الواحد بحدود (4-5 m)
- توزيع الأشجار بشكل شطرنجي.
- التباعد بين الصفوف (4-5 m) بين الصفوف.



الشكل (4–5) العرض الأعظمي لمنطقة الغمر (منطقة التشجير)

4 نتائج التشجير

طُبّق برنامج (HEC-RAS) على نموذج منطقة الدراسة بعد إجراء التعديل على منطقة الخطر العالي جداً وهو زيادة معامل مانينغ للضفاف ضمن هذه المنطقة عن طريق التشجير فكانت النتائج كالآتي:

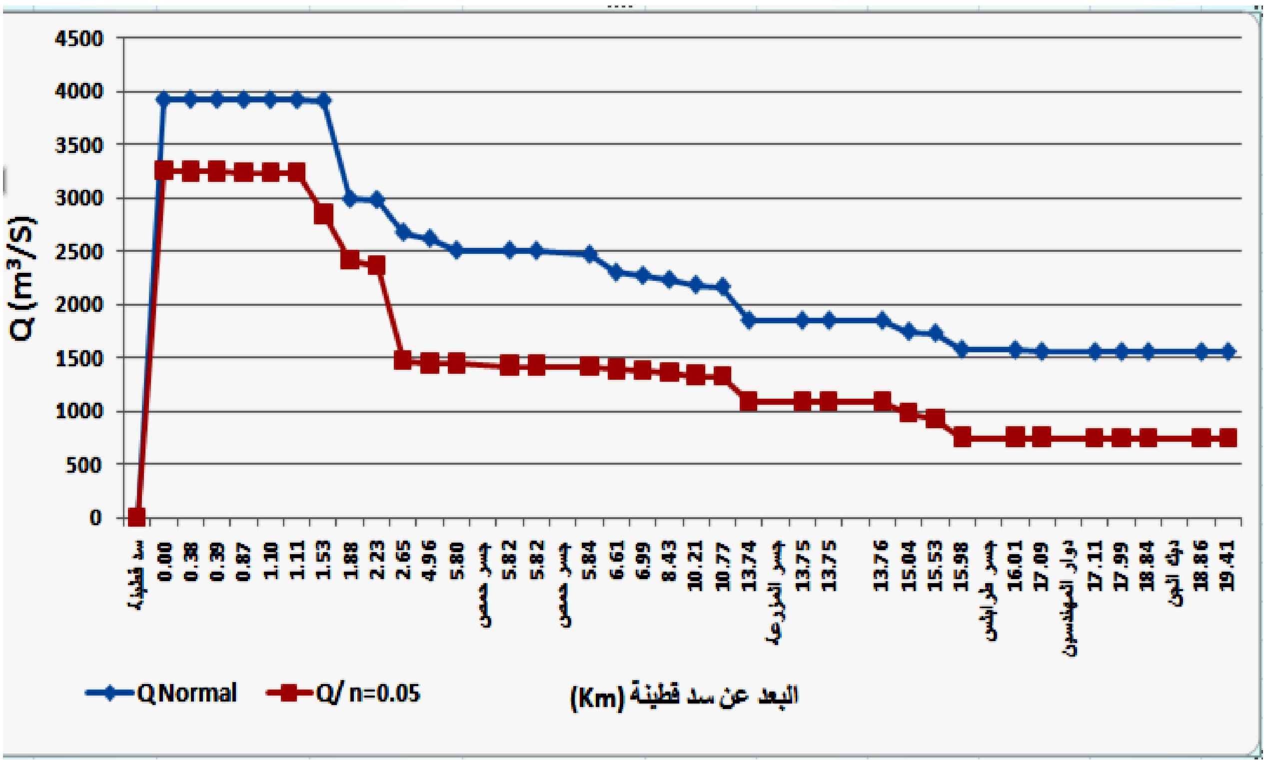
تأثير زيادة معامل مانينغ للضفاف (تشجير المنطقة)

n= (0.03 , 0.035) → n=0.05

النتائج

التدفق الفيضاني (m^3/S)	ارتفاع الغمر (m)	زمن الوصول (hour)

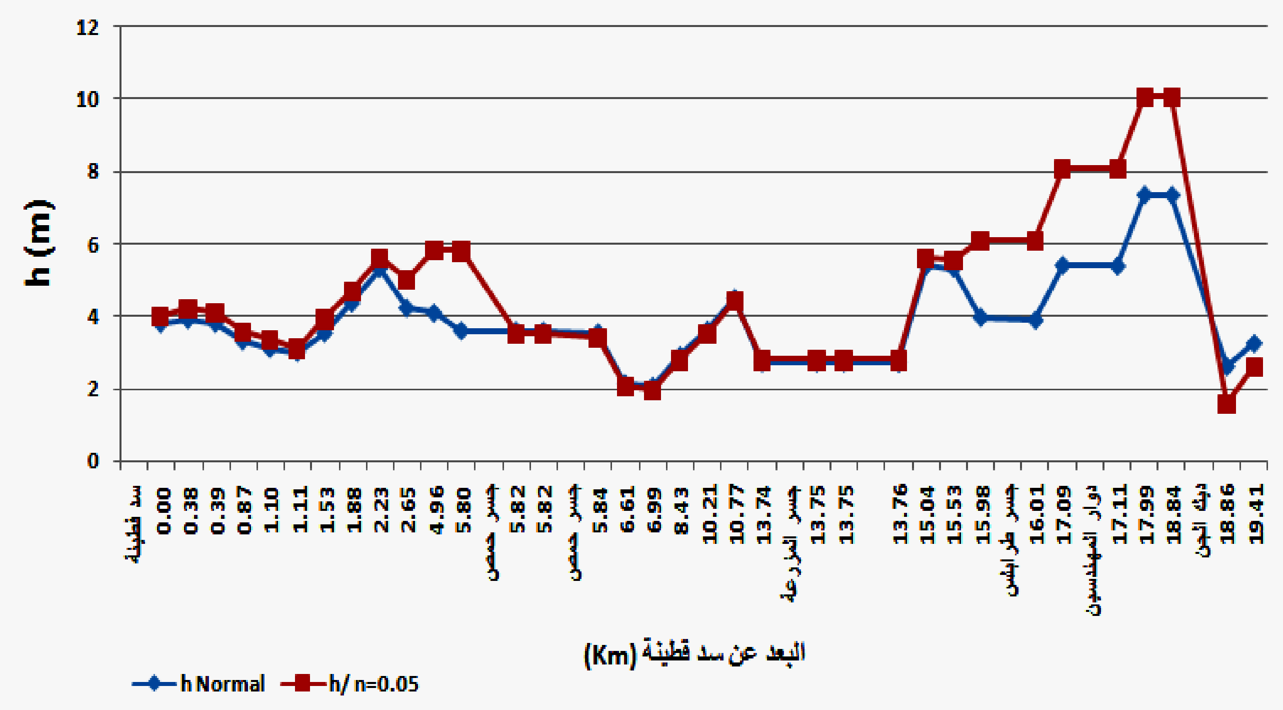
- يبين الشكل (4-6) تأثير تغيير معامل الخشونة (مانينغ) على التدفق الفيضاني ضمن منطقة الدراسة (سد قطينة – ديك الجن).



الشكل (4-6) تأثير تغيير معامل الخشونة (مانينغ) على التدفق الفيضاني

نلاحظ من الشكل السابق تغيراً واضحاً في قيمة التدفق الفيضاني الواصل إلى كل مقطع حيث انخفض التدفق في بعض المناطق بشكل واضح نظراً لتشتيت الموجة الفيضانية نتيجة اصطدامها بالأشجار المزروعة على الضفاف وبالتالي تخفيف حدة الموجة الفيضانية على المناطق التي تقع خلف السد مباشرة.

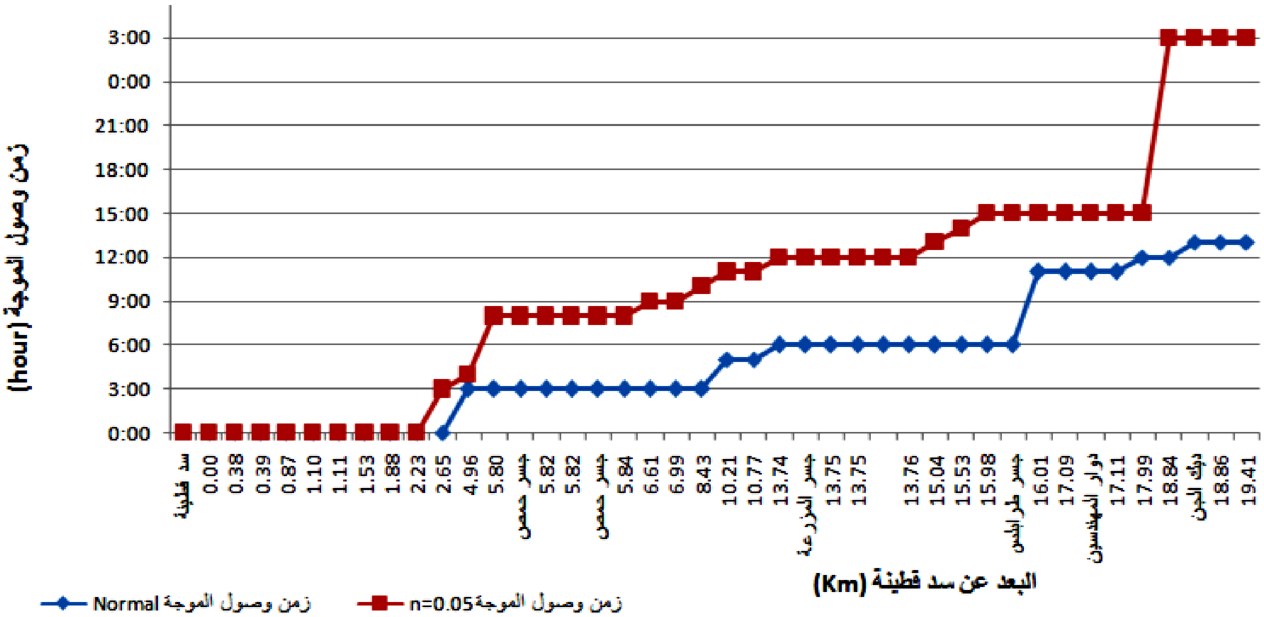
- يبين الشكل (4-7) تأثير التغير في معامل مانينغ للضفاف على ارتفاع الغمر على الضفاف.



الشكل (4-7) تأثير تغيير الخشونة على ارتفاع الغمر

نلاحظ من الشكل السابق زيادة في ارتفاع الغمر الأعظمي ولكن كون الزيادة بين صفوف الأشجار عميقة الجذور التي تتحمل ارتفاع غمر وسرعات كبيرة وهي مناطق غير مأهولة بالسكان أو المنشآت الهامة فهي بمثابة حرم للنهر لا يجوز تجاوزه (منطقة خطر عالي جداً).

- يبين الشكل (4-8) تأثير الزيادة في معامل مانينغ للضفاف على زمن وصول الموجة الفيضانية.



الشكل (4-8) تأثير تغيير معامل الخشونة على زمن وصول الموجة الفيضانية

نلاحظ من الشكل السابق التأثير الواضح لتغيير معامل الخشونة على زيادة زمن وصول الموجة الفيضانية إلى أغلب المناطق خلف السد.

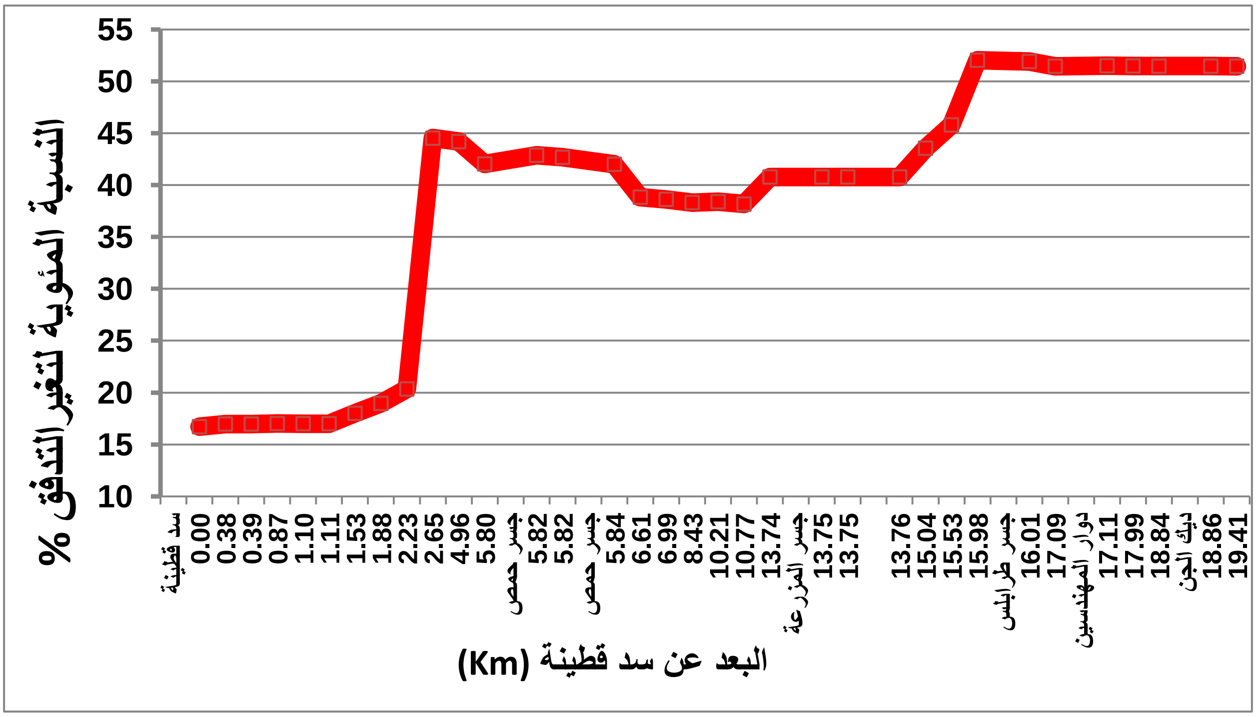
حيث نلاحظ أن الموجة الفيضانية تأخرت 6 ساعات تقريباً بالوصول إلى المناطق التي تقع بعد مسافة (5Km) من السد وهذا زمن جيد لتفادي خطر الفيضان وأخذ بعض الإجراءات اللازمة.

تحليل النتائج:

- **تأثير التغيير في معامل مانينغ على التدفق الفيضاني:**

من المخططات السابقة نلاحظ تأثير تغيير معامل الخشونة على قيمة التدفق الفيضاني حيث يؤدي إلى نقصان في قيمة التدفق لكل المقاطع بنسب متفاوتة ويلاحظ تأثيره بنسبة 50% في بعض المناطق

يوضح الشكل (4−9) تأثير تغيير (معامل الخشونةn)على التدفق الفيضاني في المجرى بشكل نسب مئوية

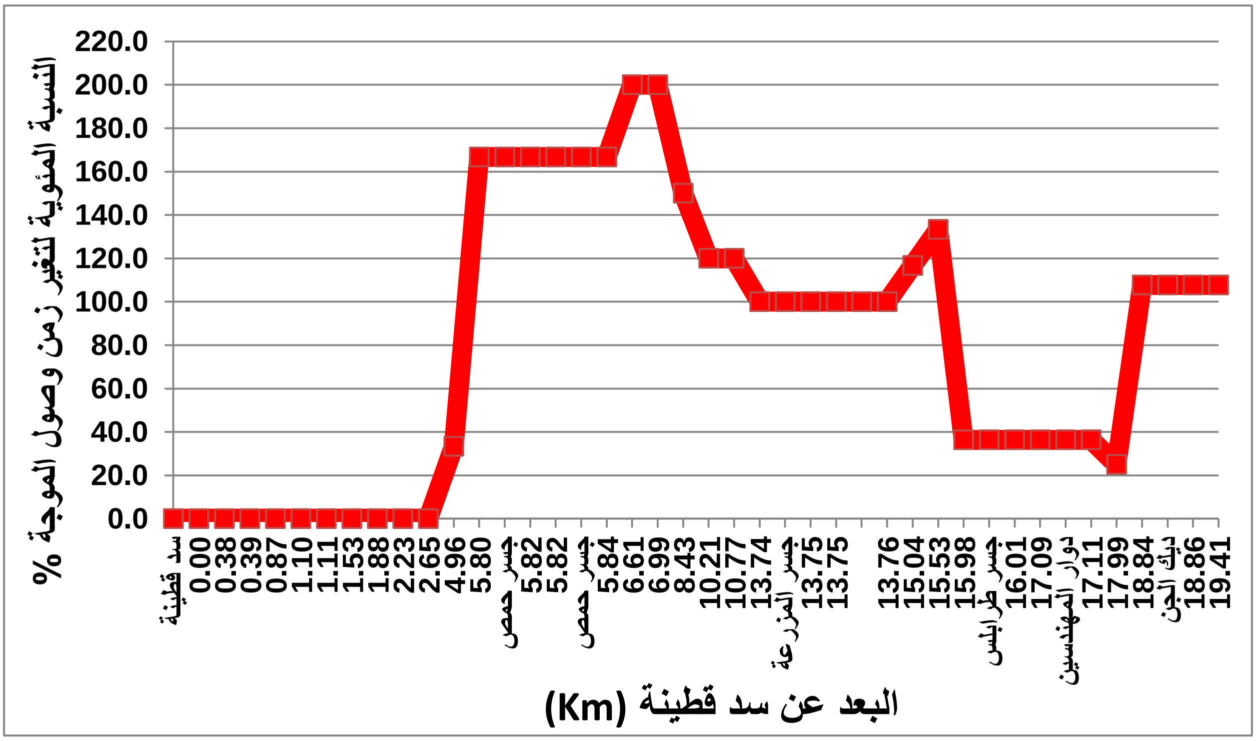


الشكل (4−9) تأثير تغيير معامل الخشونة على التدفق الفيضاني كنسبة مئوية

- **تأثير التغيير في معامل مانينغ على زمن وصول الموجة الفيضانية**

من المخططات السابقة نلاحظ تأثير تغيير معامل الخشونة الكبير في تأخير زمن وصول الموجة الفيضانية حيث يؤدي إلى زيادة في الزمن لكل مقطع بنسب متفاوتة ويلاحظ تأثيره بنسبة 200% في بعض المقاطع وهذا من الأمور الهامة جداً حيث إنها تمنح الوقت الكافي لأخذ احتياطات الأمان في بعض المناطق.

يبين الشكل (4−10) تأثير تغيير (معامل الخشونة n) على زمن وصول الموجة الفيضانية بشكل نسب مئوية.



الشكل (4–10) تأثير تغيير معامل الخشونة على زمن وصول الموجة الفيضانية كنسبة مئوية

4–3–2 الإجراء الثاني: إنشاء أقنية تحويل لمياه الفيضان إلى أحواض تجميع (بحيرات تخزين)

تُنشأَ قناة تحويل على مجرى النهر لتمرير مياه الفيضان إلى أقرب مجرى مائي أو إلى حوض تجميع (منطقة منخفضة غير مأهولة بالسكان أو المنشآت) [32,47,53] .

الغاية من إنشاء أقنية التحويل:

1 –تخفيف التدفق الفيضاني إلى المناطق المجاورة للنهر والمنشآت المقامة عليه.

2 -تخفيف حجم التدفق الفيضاني الواصل إلى سد الرستن بهدف حماية السد من خطر الانهيار.

3 -تأخير وصول الموجة الفيضانية وبالتالي كسب الوقت للقيام بإجراءات الحماية من خطر الفيضان على المناطق خلف السد وعلى السدود المعرضة للموجة الفيضانية.

<u>خطوات الحل المقترح:</u>

1 –**تحديد المنطقة التي سيتم فيها إنشاء أقنية تحويل لمياه الفيضان**

المعيار الأساسي لتحديد موقع قناة التحويل هو:

- وجود مجرى مائي قريب من القناة لتحويل المياه إليه
- وجود منطقة منخفضة وغير مأهولة بالسكان والمنشآت تكون بمثابة (أحواض تجميع)

- اختيار الطريق الأقرب والأقل تكلفة أثناء تصميم القناة بحيث لايتم إزالة للمباني السكنية والمنشآت لأن مثل هذه الأقنية قد لاتلزم إلا في فترة الفيضان.

2 -تحديد المنطقة التي سيتم فيها إنشاء أحواض تجميع (بحيرات تخزين)

المعيار الأساسي لتحديد موقع أحواض التخزين هو:

- وجود منطقة منخفضة طبوغرافياً وبمساحة كبيرة بحيث تستوعب أكبر كمية من التدفق الفيضاني.
- عدم وجود مباني سكانية أو فعاليات اقتصادية ضمن هذه المنطقة.

الغاية من إنشاء هذه الأحواض:

- (في فترة الفيضان) استيعاب أكبر كمية من مياه الفيضان الواصل إليها باستخدام أقنية التحويل دون إلحاق الضرر بالمناطق المجاورة للحوض.
- (في الأوقات العادية) استخدام هذه الأحواض كحدائق أو ملاعب غولف.

بإجراء دراسة طبوغرافية للمنطقة خلف السد باستخدام كل من (GIS ,Google earth) [31] حُددت المناطق المتوقع أن تكون صالحة لإنشاء أحواض تجميع لمياه الفيضان وهذا ما يظهر في الصورة (4-4).

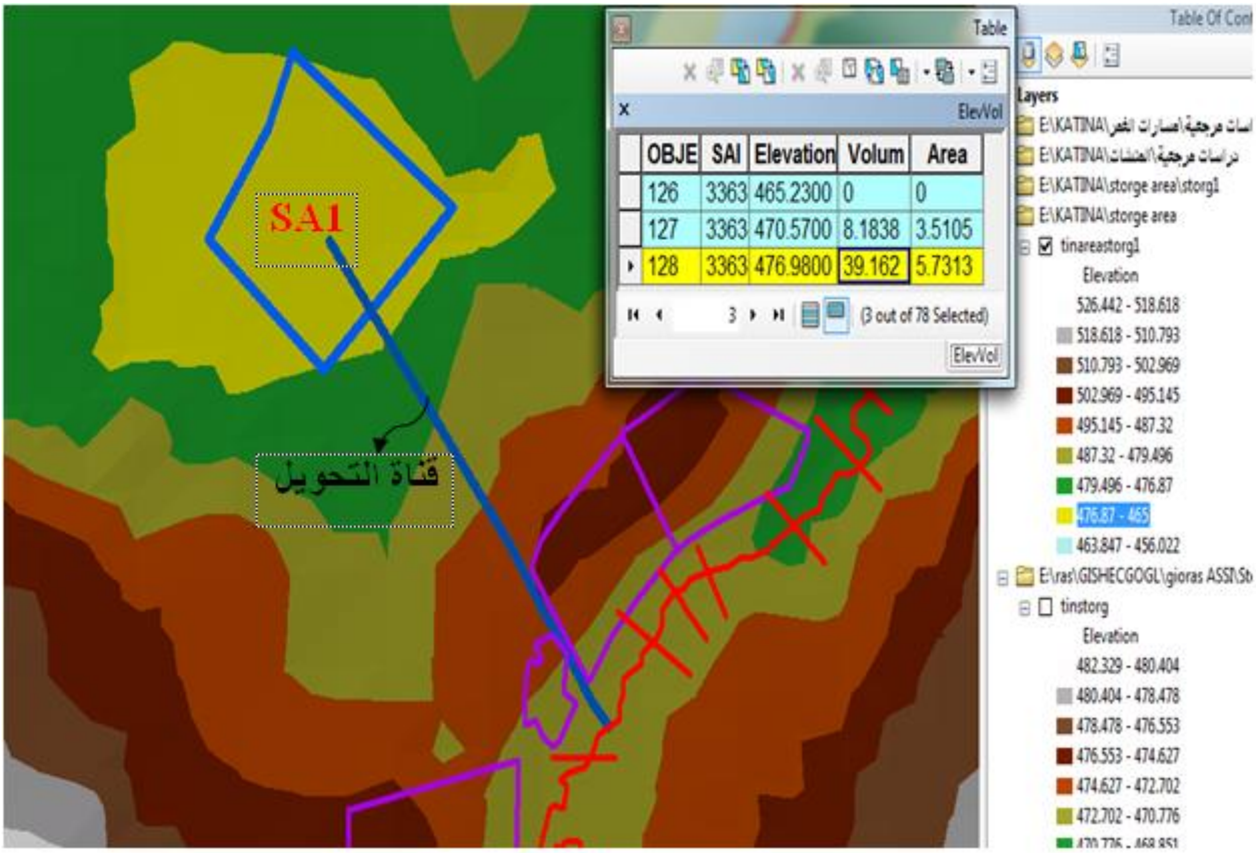


الصورة (4-4) تبين موقع حوضي التجميع(SA1,SA2) خلف سد قطينة

4-3-2-1 حوض التجميع الأول (SA1)

نُجري دراسة طبوغرافية للمنطقة اعتماداً على نموذج الإرتفاعات الرقمية (**DEM - Digital Elevation Model**) لتحديد مدى صلاحية الحوض المقترح SA1 ليكون حوض تجميع لمياه الفيضان.

نستخدم أدوات التحليل التي يتيحها برنامج (Arc GIS) (Toolbox – Spatial Analyst Tools) لتحديد موقع الحوض SA1 وتحديد مواصفاته، وهذا ما يظهر في الشكل (4- 11).



الشكل (4-11) نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) بهيئة (TIN) لمنطقة الحوض الأول SA1

- ***<u>مواصفات حوض التجميع الأول (SA1)</u>***

الحوض SA1			
أدنى منسوب (m)	أقصى منسوب (m)	مساحة الحوض (m^2)	حجم التخزين (m^3)
465	476.8	5.7×10^6	39.16×10^6

نقوم بتصدير البيانات الخاصة بقناة التحويل مع مضلّع حوض التجميع من GIS إلى Google Earth لتحديد موقع الحوض والقناة بشكل دقيق والتأكد من عدم وجود مبانٍ سكنية أو منشآت ضمن منطقة الحوض.

تبين الصورة (4-5) موقع القناة والحوض بالنسبة للمباني السكنية والأراضي الزراعية والمنشآت.



الصورة (4-5) قناه التحويل مع الحوض SA1

<u>قناة التحويل الأولى</u>

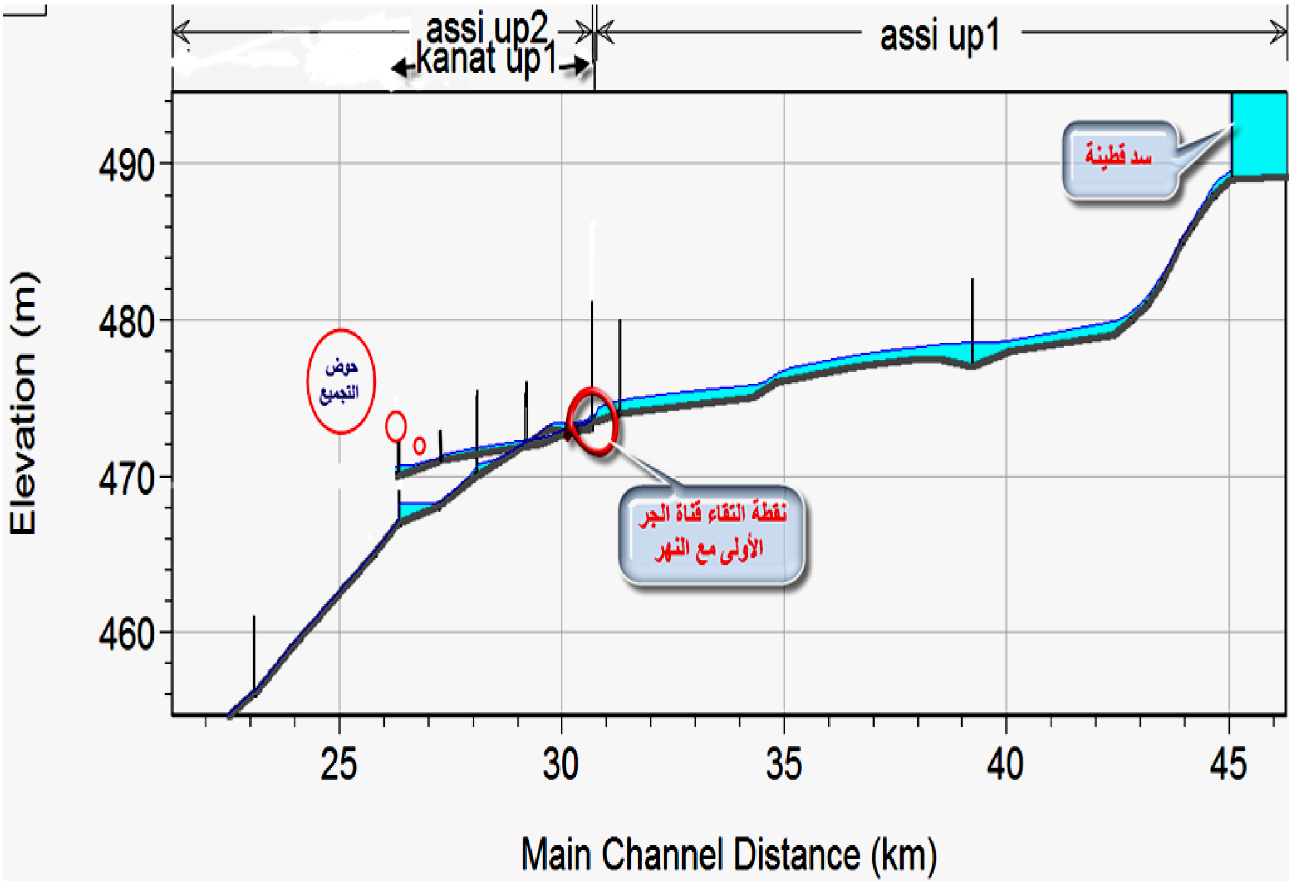
لابد من تصميم هذه الأقنية بحيث تكون قادرة على جر كمية من مياه الفيضان وبسرعة مسموحة لاتتجاوز الحد المسموح الذي يؤدي إلى الجرف وبالتالي الإطماء وإغلاق هذه الأقنية وعدم الاستفادة منها أثناء الفيضان ، كما يلزم إجراء صيانة ومراقبة دورية لقناة التحويل .

- ***<u>مواصفات قناة التحويل الأولى</u>***

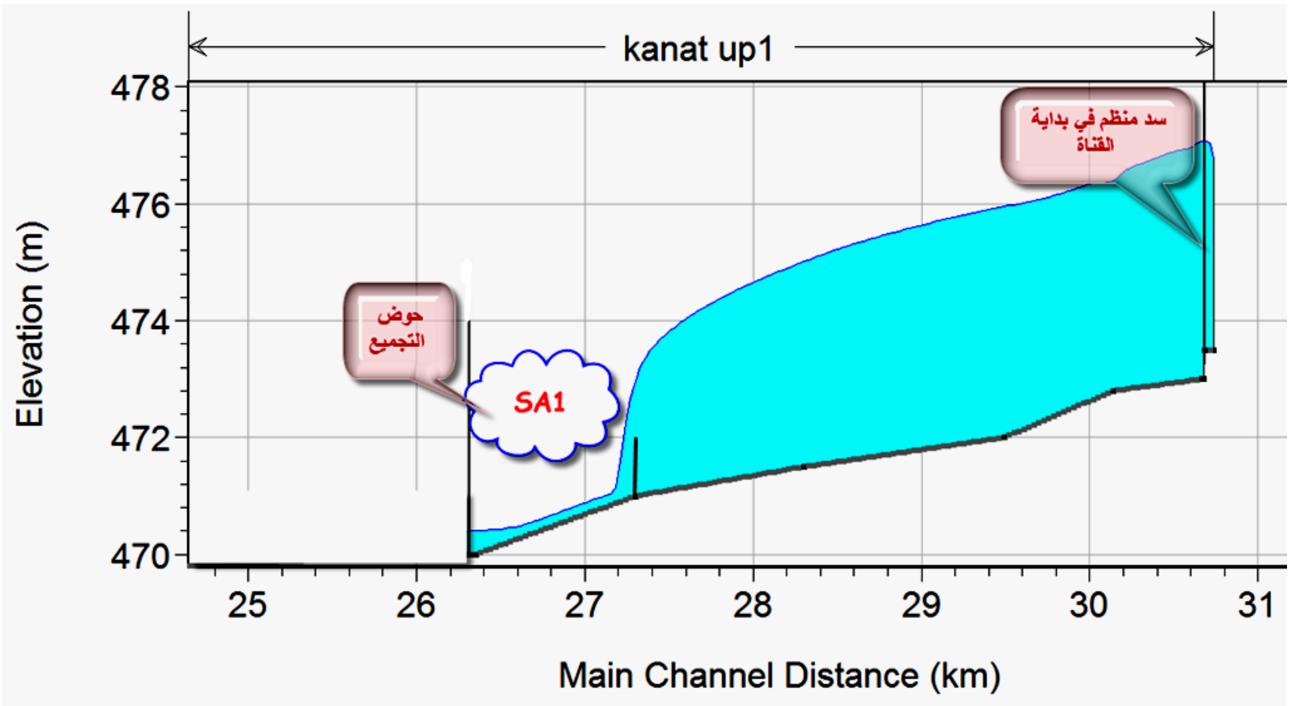
رقم القناة	البعد عن سد قطينة (km)	الطول(m)	شكل المقطع	العرض(m)B	العرض b(m)	العمق(m)
1	14.3	3.5	شبه منحرف	5	3	5

يبين الشكل (4-12) موقع قناة التحويل على مجرى النهر.

أما الشكل (4-13) فيبين مقطعاً طولياً في قناة التحويل وميلها الطولي مع المنشآت الملحقة وحوض التجميع.



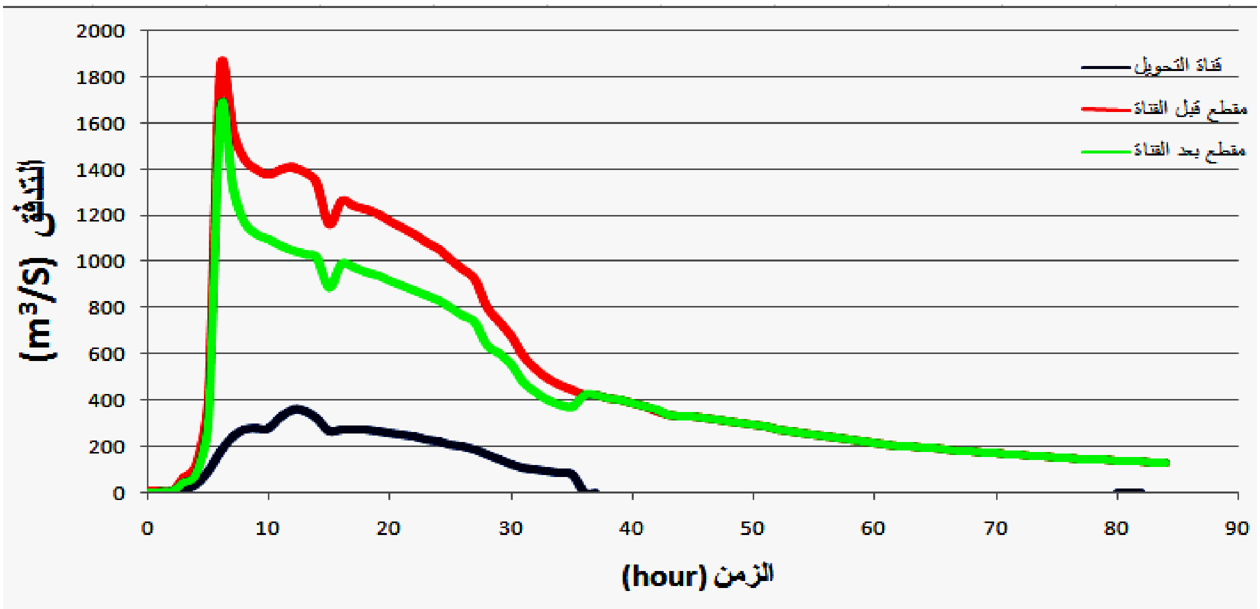
الشكل (4-12) موقع قناة التحويل على مجرى النهر



الشكل (4-13) مقطع طولي في قناة التحويل مع المنشآت الملحقة وحوض التجميع.

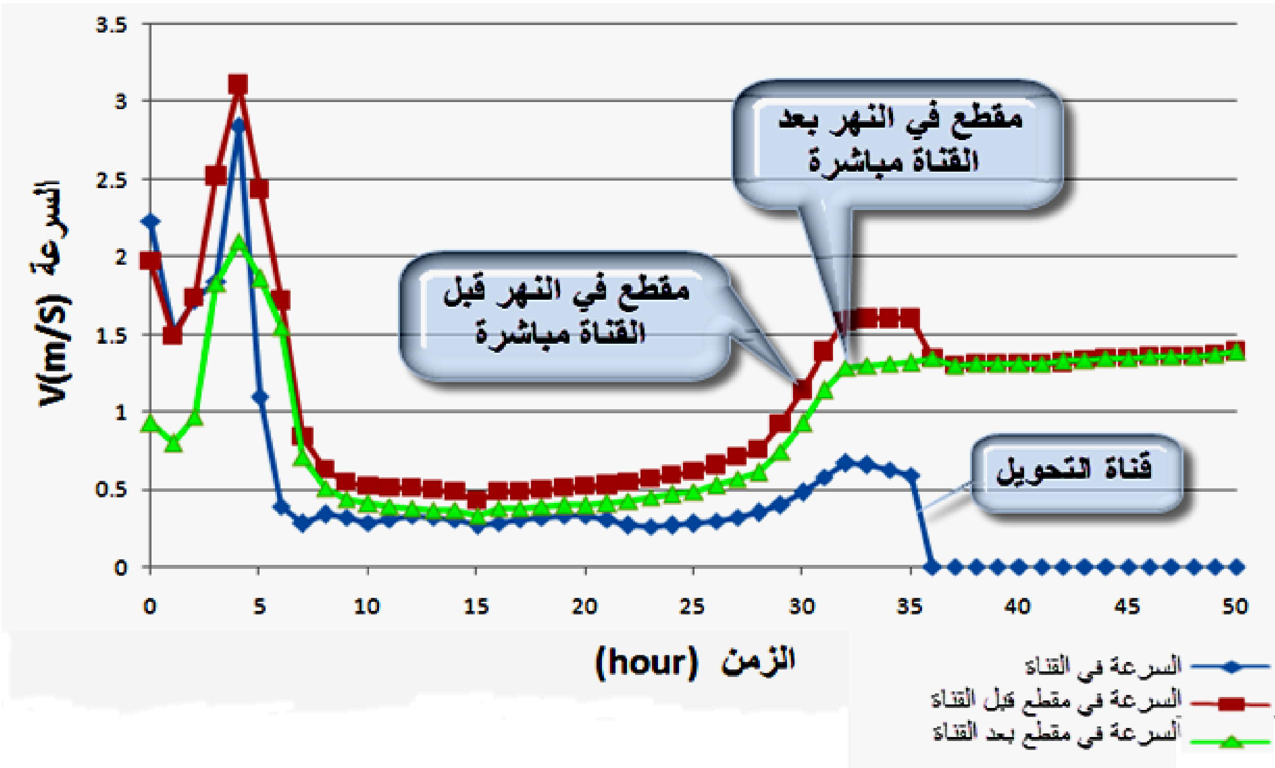
<u>مخططات الفيضان في قناة التحويل الأولى</u>

يبين الشكل (4−14) قيمة التدفق الفيضاني الذي يجري في قناة التحويل الأولى

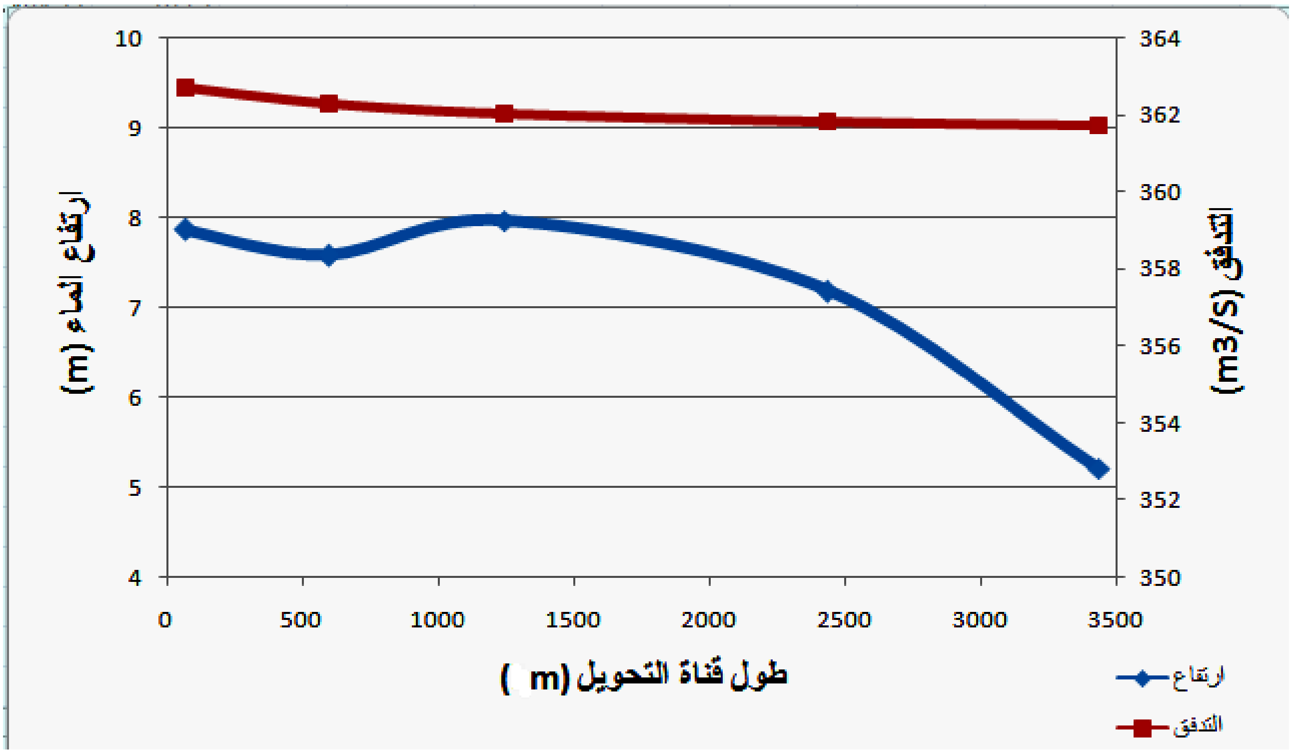


الشكل (4−14) مخطط التدفق مع الزمن في نقطة التقاء القناة مع مجرى النهر

يبين الشكل (4−15) مخطط السرعة مع الزمن في نقطة التقاء قناة التحويل مع مجرى النهر



الشكل (4−15) مخطط السرعة مع الزمن في نقطة التقاء القناة مع مجرى النهر



الشكل (4−16) التدفق المار في قناة التحويل وارتفاع الماء الموافق

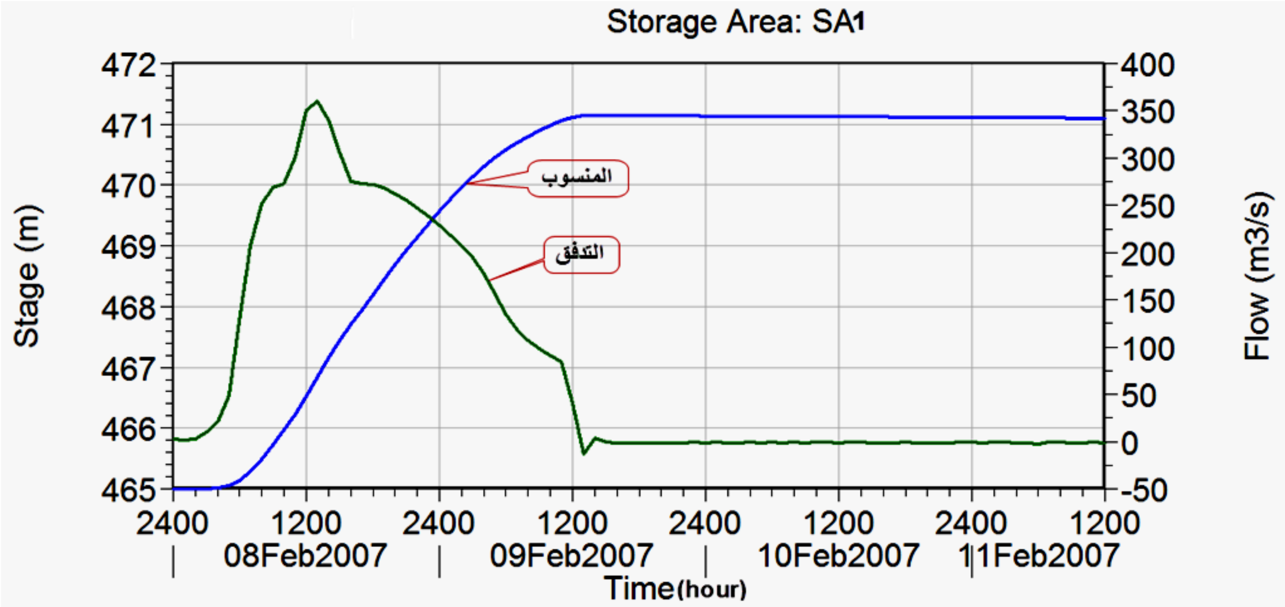
تحليل نتائج المخططات في قناة التحويل:

نلاحظ من الشكل (4−14) والشكل (4−15) والشكل (4−16)

قناة التحويل الأولى	التدفق (m^3/S)	السرعة (m/S)	ارتفاع الماء (m)
القيم الأعظمية	362	2.8	8

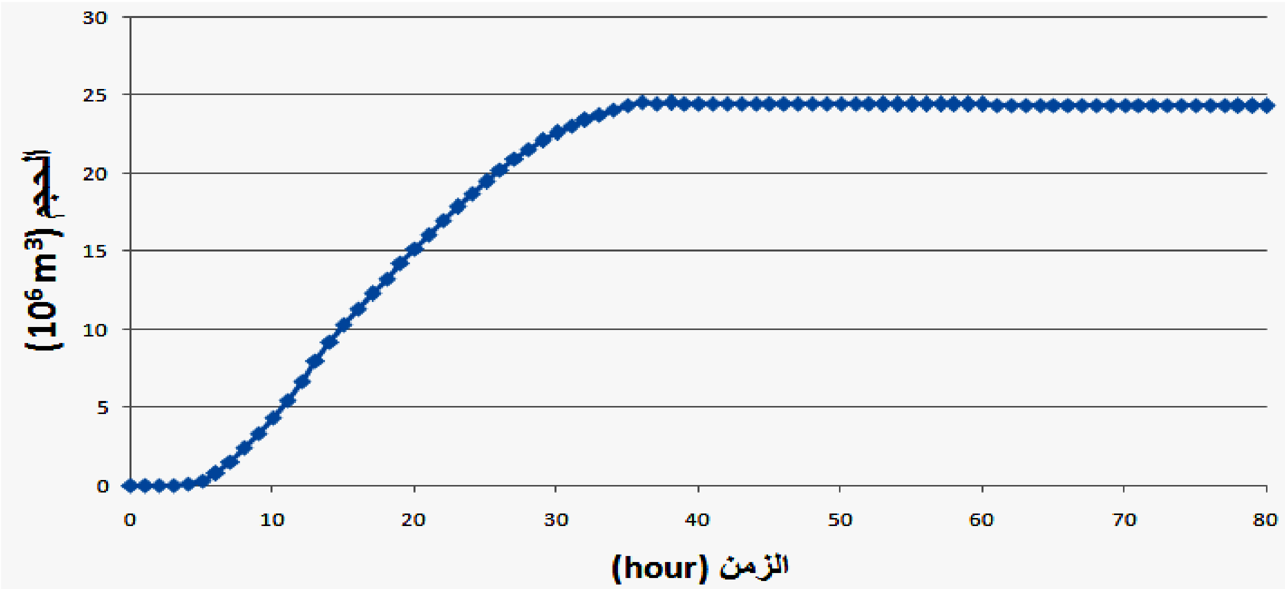
مخططات الفيضان في حوض التجميع SA1

يبين الشكل (4−17) قيمة التدفق الأعظمي الواصل إلى حوض التجميع والزمن اللازم لوصوله وأعلى منسوب للمياه في الحوض.



الشكل (4–17) علاقة التدفق والمنسوب مع الزمن في حوض التجميع SA1

أما الشكل (4–18) فيبين الحجم المستخدم من الحوض SA1 لاستيعاب مياه الفيضان والزمن اللازم لذلك



الشكل (4–18) علاقة حجم التخزين مع الزمن في حوض التجميع SA1

<u>تحليل نتائج المخططات في حوض التجميع SA1:</u>

نلاحظ من الشكل (4–17) والشكل (4–18) مايلي:

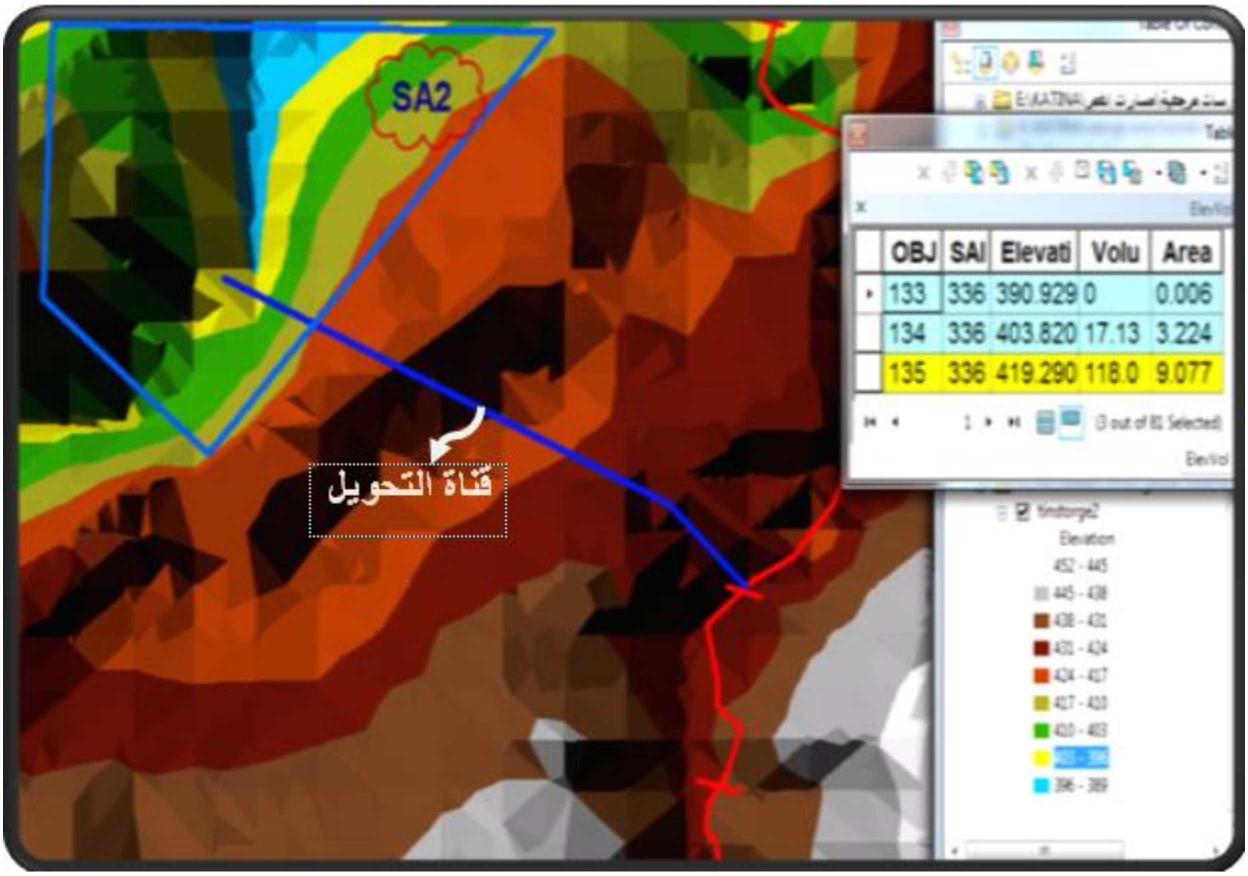
حوض التجميع SA1	التدفق (m^3/S)	المنسوب (m)	الحجم (10^6m^3)
القيم الأعظمية	362	471.2	24.5

نقارن هذه القيم مع مواصفات الحوض فنلاحظ أن الحوض قادر على استيعاب حجم الفيضان الواصل إليه.

4-3-2-2 حوض التجميع الثاني (SA2)

نقوم بالخطوات السابقة نفسها في الحوض الأول SA1 وهي دراسة طبوغرافية للمنطقة بالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) لتحديد مدى صلاحية الحوض المقترح SA2 ليكون حوض تجميع لمياه الفيضان.

نستخدم أدوات التحليل التي يتيحها برنامج (Arc GIS) لتحديد موقع الحوض SA1 وتحديد مواصفاته، وهذا ما يظهر في الشكل (4-19).



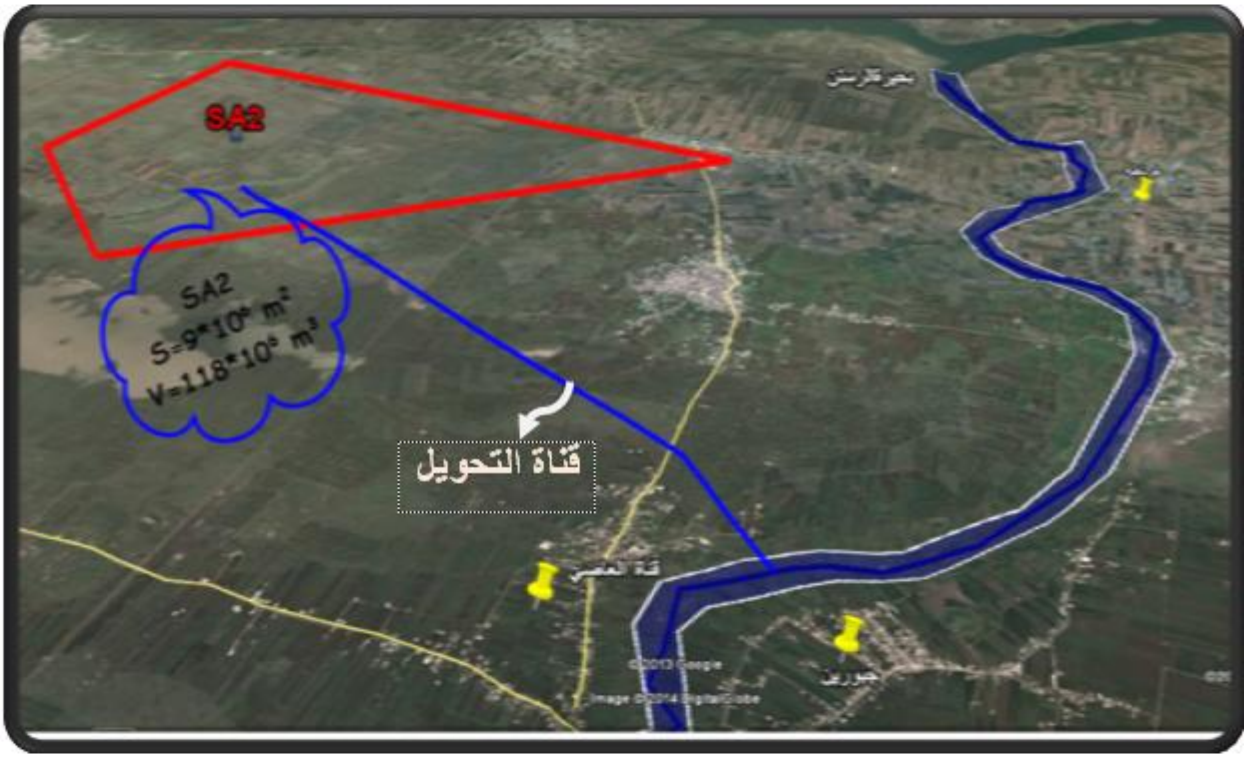
الشكل (4-19) نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) بهيئة (TIN) لمنطقة الحوض الثاني SA2

- ***مواصفات حوض التجميع الثاني (SA2)***

الحوض SA2			
أدنى منسوب (m)	أقصى منسوب (m)	مساحة الحوض (m^2)	حجم التخزين (m^3)
390	419	9.07×10^6	118×10^6

نقوم بتصدير البيانات الخاصة بقناة التحويل مع مضلّع حوض التجميع من GIS إلى Google Earth لتحديد موقع الحوض والقناة بشكل دقيق والتأكد من عدم وجود مبانٍ سكنية أو منشآت ضمن منطقة الحوض.

والصورة (4-6) تبين موقع القناة والحوض بالنسبة للمباني السكنية والأراضي الزراعية والمنشآت.



الصورة (4-6) قناه التحويل مع الحوض SA2

قناة التحويل الثانية

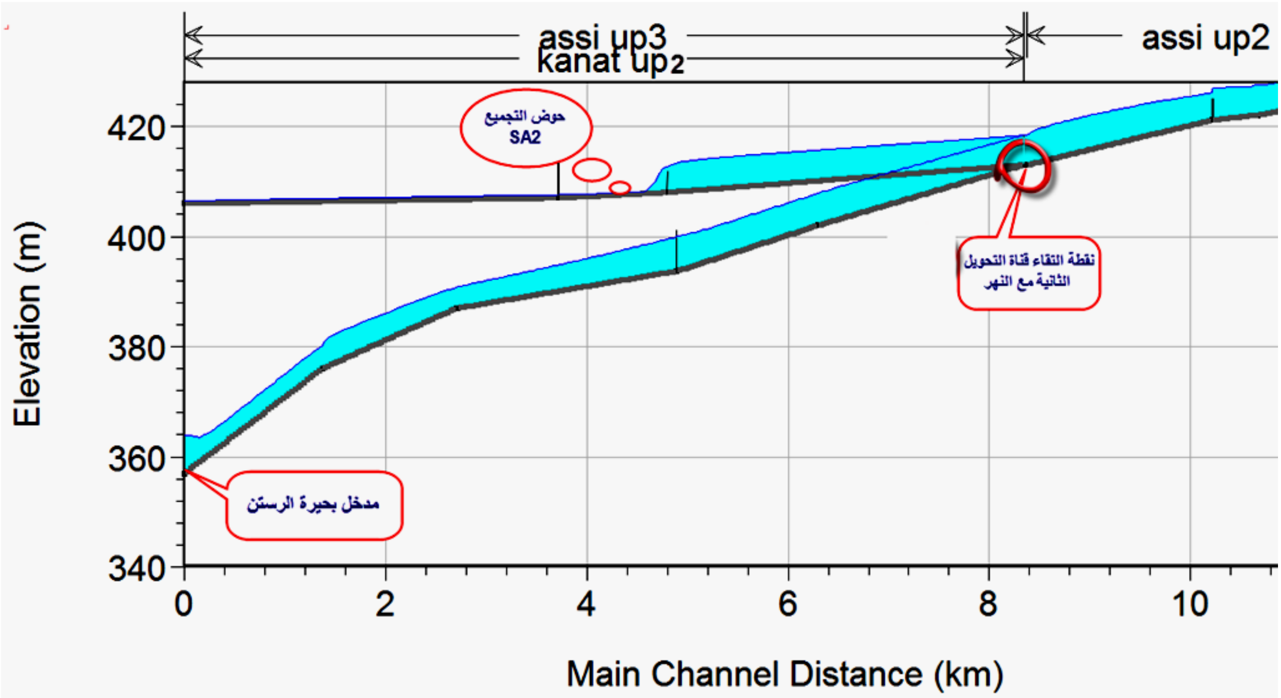
نصمّم القناة الثانية بشروط تصميم القناة الأولى نفسها.

مواصفات قناة التحويل الثانية

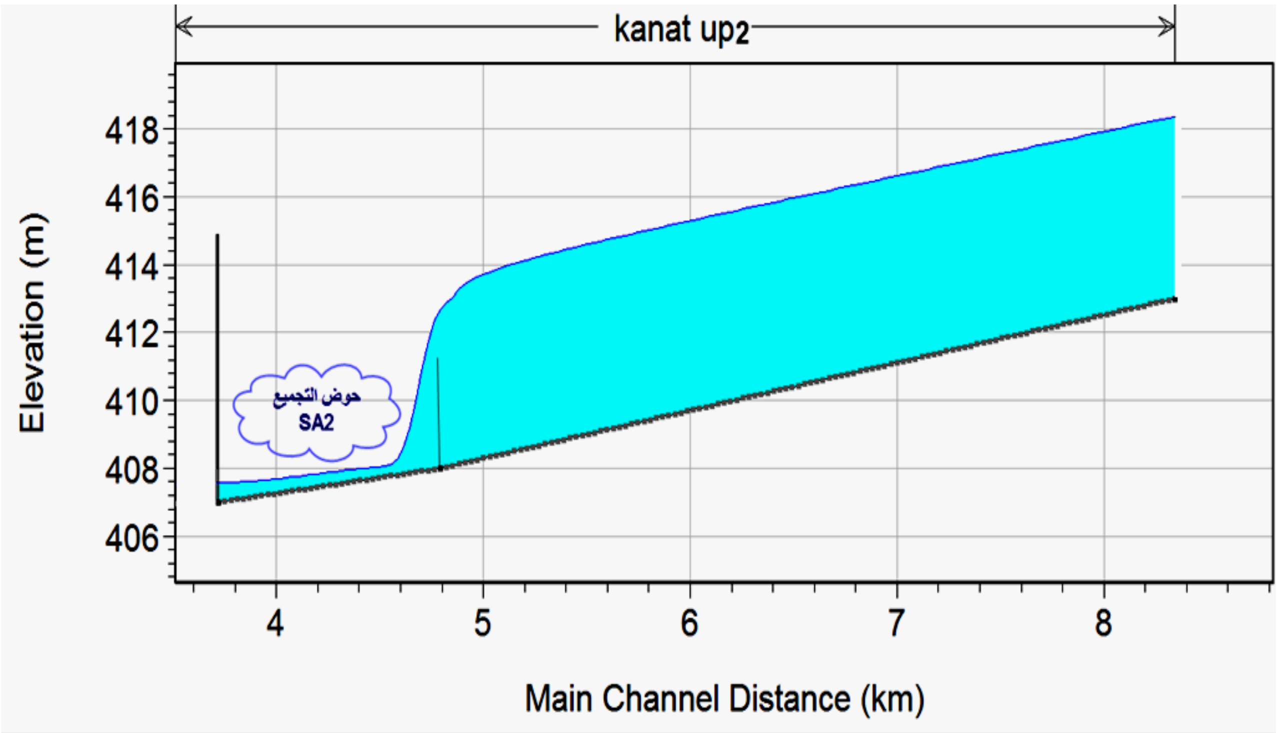
رقم القناة	البعد عن سد قطينة (km)	الطول(m)	شكل المقطع	العرض B(m)	العرض b(m)	العمق(m)
2	36.7	3.55	شبه منحرف	5	3	5

يبين الشكل (4-20) موقع قناة التحويل الثانية على مجرى النهر.

أما الشكل (4-21) فيبين مقطعاً طولياً في قناة التحويل الثانية وميلها الطولي مع المنشآت الملحقة وحوض التجميع.



الشكل (4–20) موقع قناة التحويل على مجرى النهر

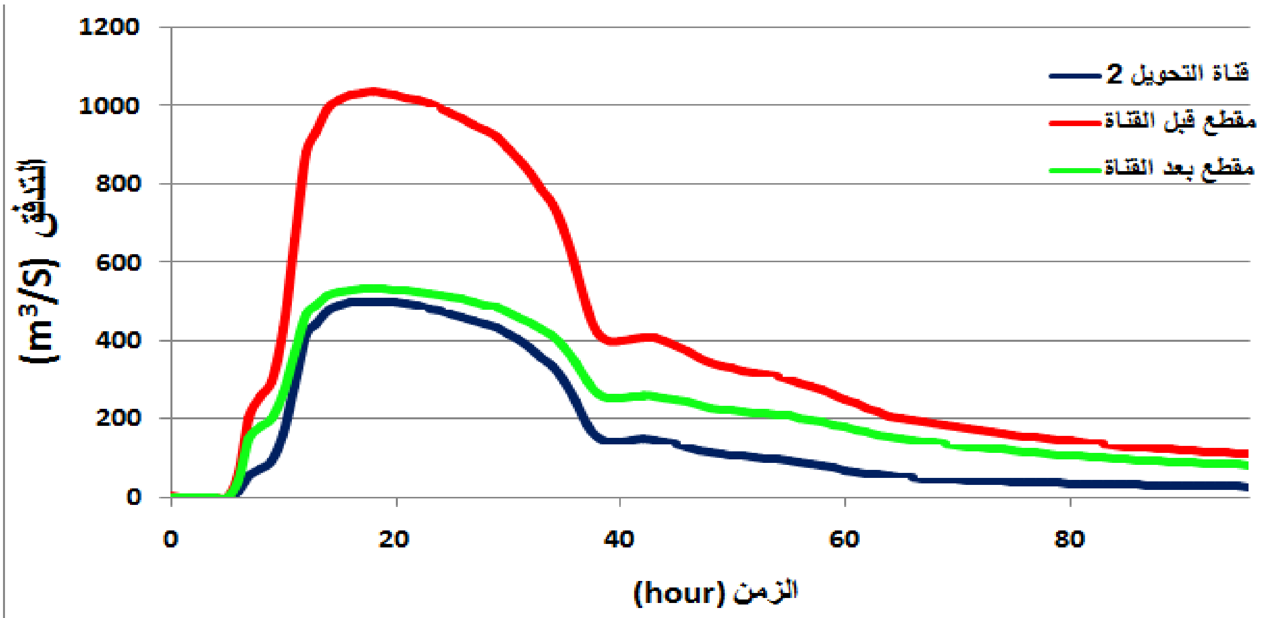


الشكل (4–21) مقطع طولي في قناة التحويل مع المنشآت الملحقة وحوض التجميع.

نلاحظ من الشكل السابق أنه عند تصميم القناة الثانية في نقطة الاتصال مع مجرى النهر لم تُوضَع منشآة لتنظيم كمية مياه الفيضان الداخلة إلى القناة بسبب حجم الاستيعاب الكبير لحوض التجميع SA2 وللتخفيف من حجم الفيضان الواصل إلى الرستن.

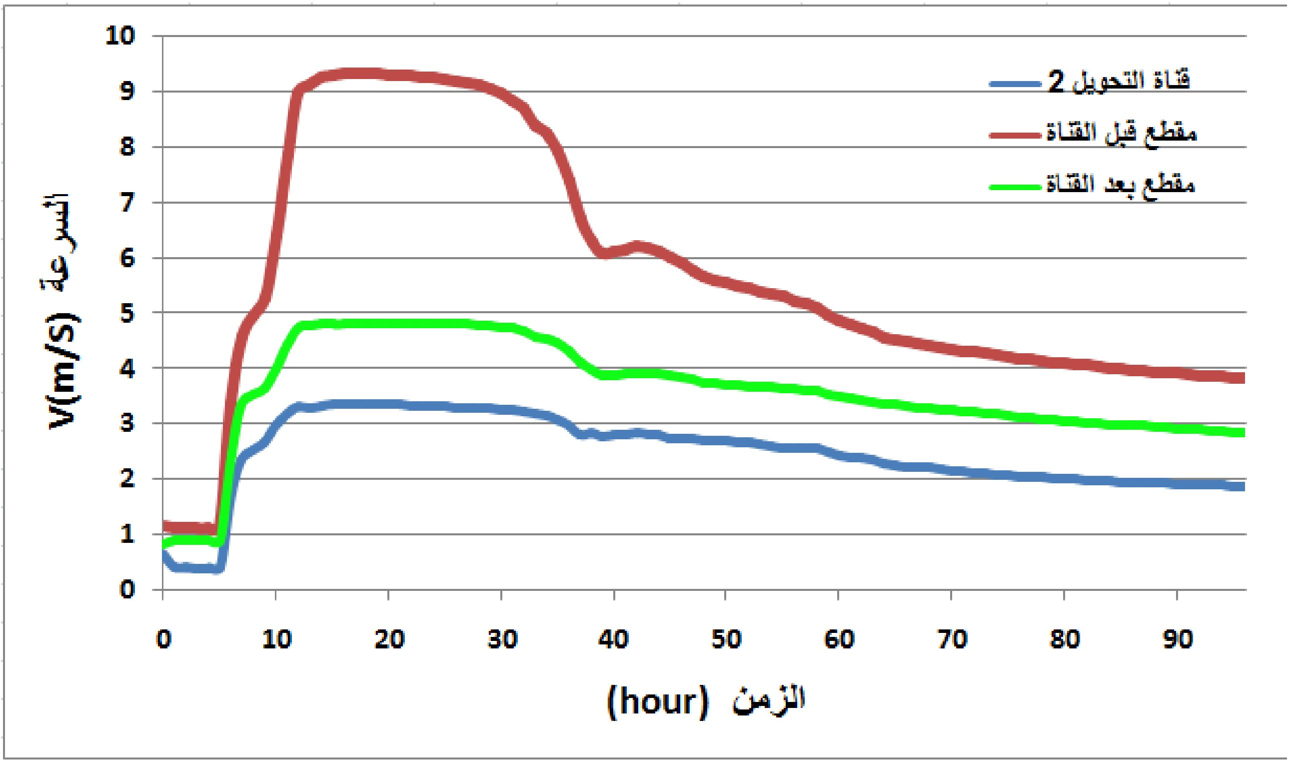
<u>مخططات الفيضان في قناة التحويل الثانية</u>

يبين الشكل (4−22) قيمة التدفق الفيضاني الذي يجري في قناة التحويل الثانية

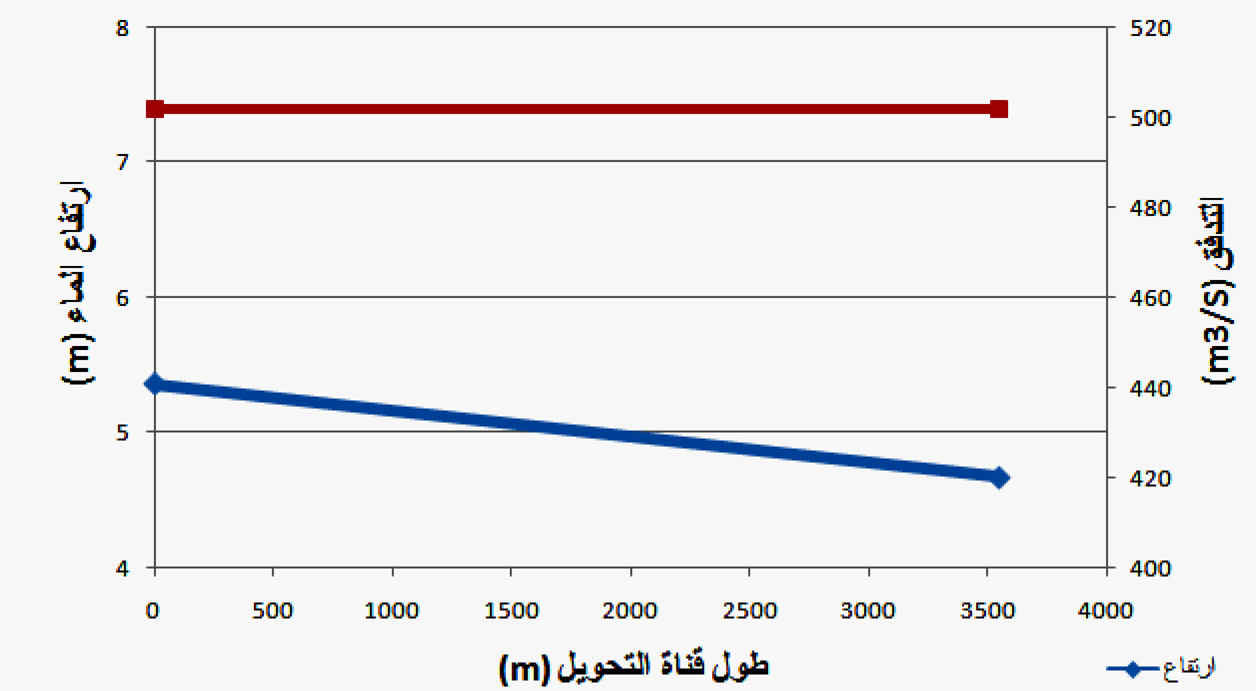


الشكل (4−22) مخطط التدفق مع الزمن في نقطة التقاء القناة مع مجرى النهر

يبين الشكل (4−23) مخطط السرعة مع الزمن في نقطة التقاء قناة التحويل مع مجرى النهر



الشكل (4−23) مخطط السرعة مع الزمن في نقطة التقاء القناة مع مجرى النهر



الشكل (4-24) التدفق المار في القناة الثانية وارتفاع الماء الموافق

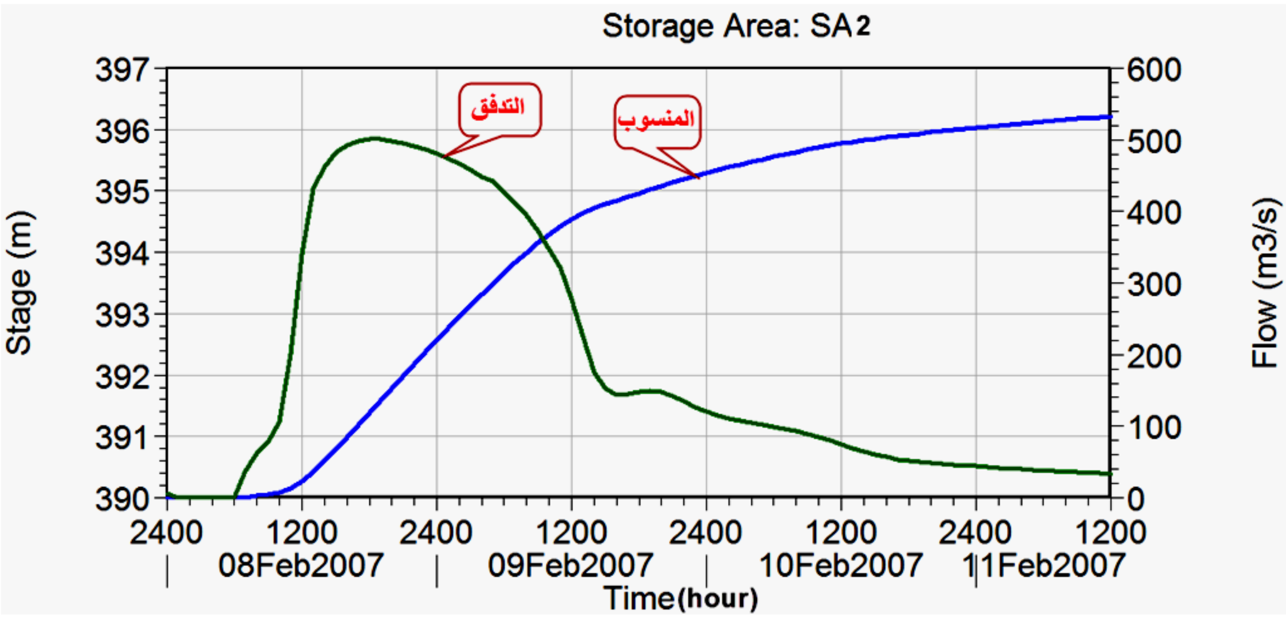
تحليل نتائج المخططات في قناة التحويل:

نلاحظ من الشكل (4-22) والشكل (4-23) والشكل (4-24)

قناة التحويل الأولى	التدفق (m^3/S)	السرعة (m/S)	ارتفاع الماء (m)
القيم الأعظمية	500	3.3	5.4

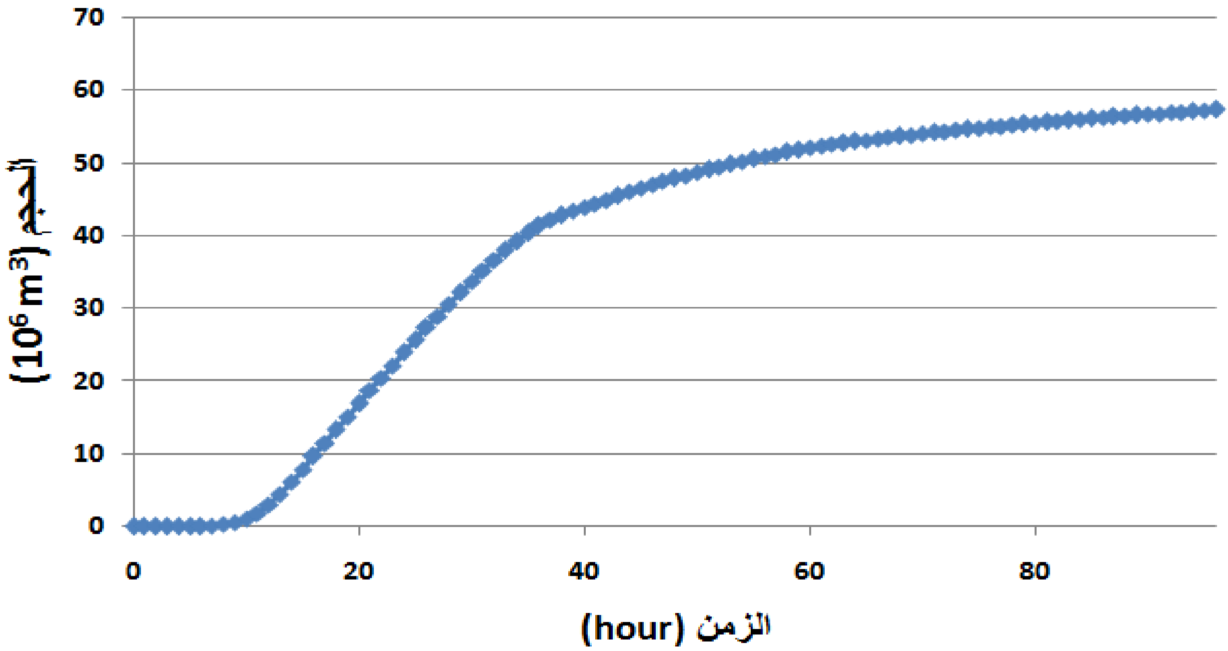
مخططات الفيضان في حوض التجميع SA2

يبين الشكل (4-25) قيمة التدفق الأعظمي الواصل إلى حوض التجميع والزمن اللازم لوصوله وأعلى منسوب للمياه في الحوض.



الشكل (4-25) علاقة التدفق والمنسوب مع الزمن في حوض التجميع SA2

أما الشكل (4-26) فهو يبين الحجم المستخدم من الحوض SA1 لاستيعاب مياه الفيضان والزمن اللازم لذلك



الشكل (4-26) علاقة حجم التخزين مع الزمن في حوض التجميع SA1

تحليل نتائج المخططات في حوض التجميع SA2:

نلاحظ من الشكل (4-25) والشكل (4-26) مايلي:

حوض التجميع SA2	التدفق (m^3/S)	المنسوب (m)	الحجم (10^6m^3)
القيم الأعظمية	500	397	57.3

نقارن هذه القيم مع مواصفات الحوض فنلاحظ أن الحوض قادر على استيعاب حجم الفيضان الواصل إليه.

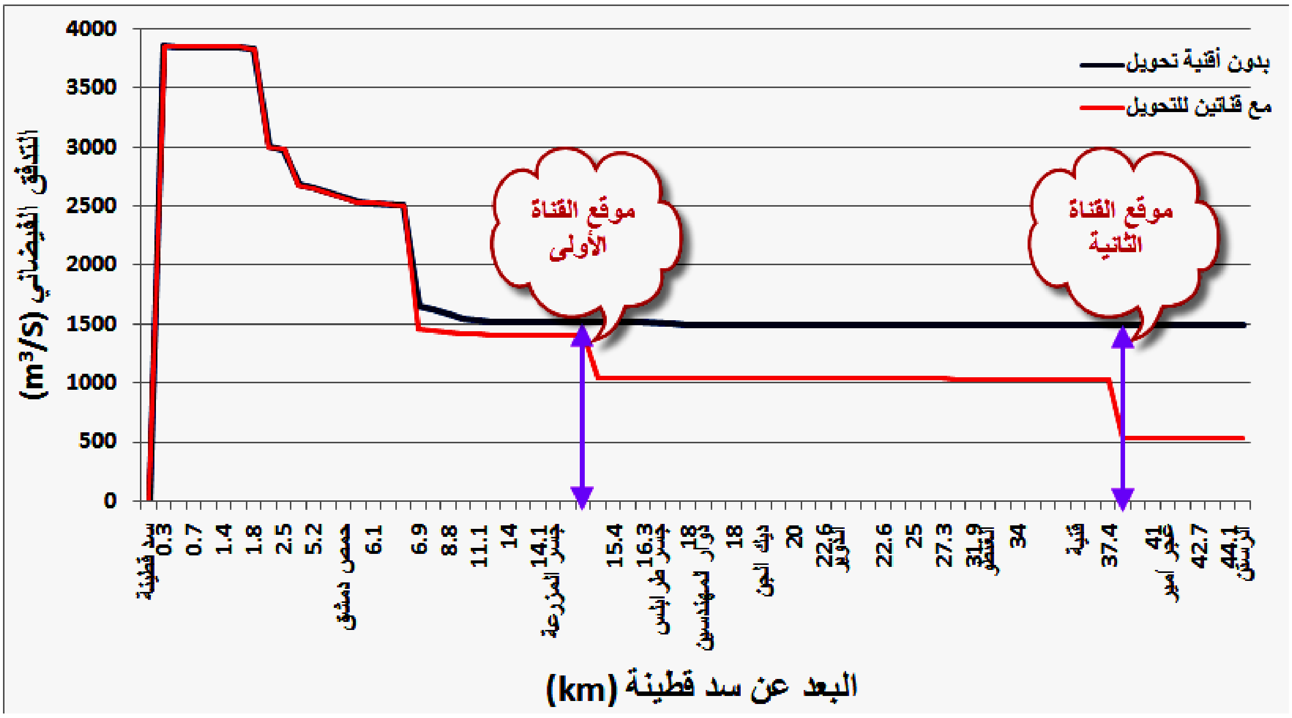
4-3-2-3 تأثير إنشاء أقنية التحويل في التخفيف من أثار الفيضان

1 تأثير إنشاء أقنية التحويل وأحواض التجميع على التدفق الفيضاني و ارتفاع الغمر

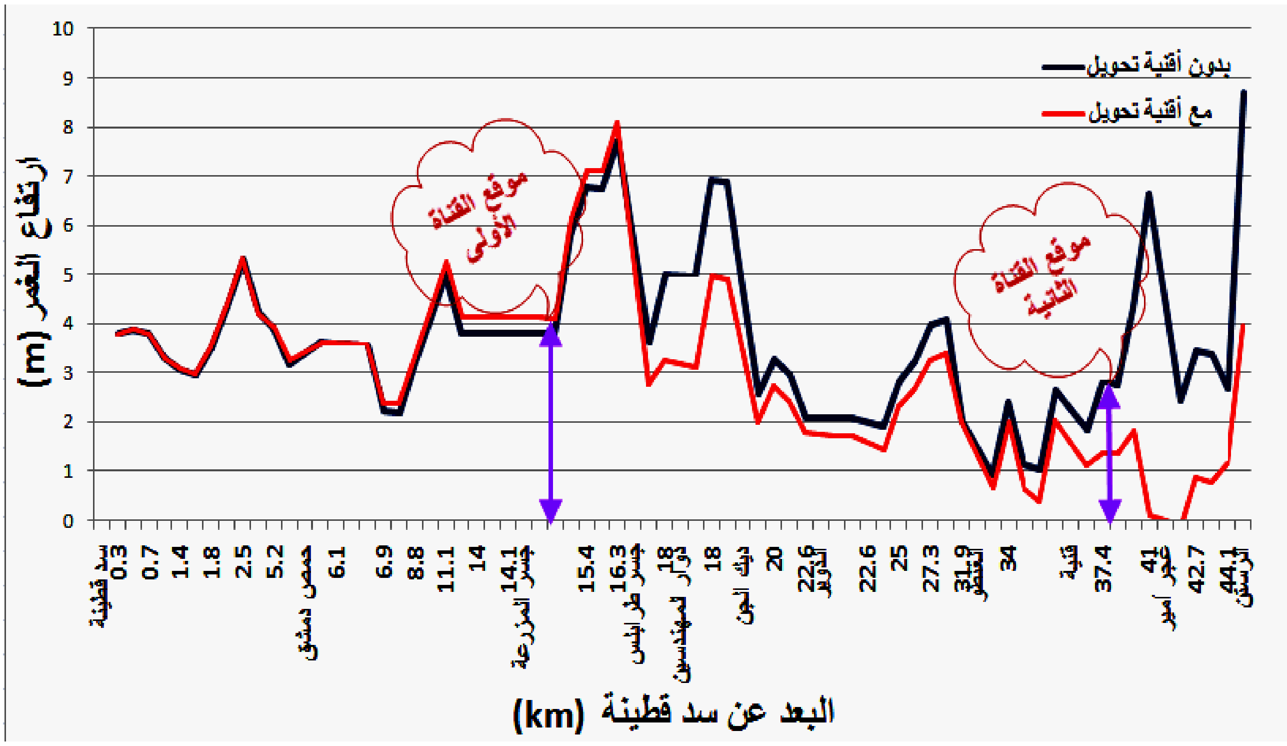
نقارن قيم التدفق الفيضاني (الناتج عن انهيار افتراضي لسد قطينة) في كل مقطع على طول مجرى النهر خلف السد بالشكل الطبيعي للنهر (بدون وجود أقنية تحويل) مع قيم التدفق الفيضاني بعد إنشاء أقنية التحويل.

يبين الشكل (4-27) المقارنة بين قيم التدفق الفيضاني قبل إنشاء أقنية التحويل وبعدها.

يبين الشكل (4-28) المقارنة بين قيم ارتفاع الغمر قبل إنشاء أقنية التحويل وبعدها.



الشكل (4–27) قيم التدفق الفيضاني في كل مقطع في الحالتين (الحالة الطبيعية ومع أقنية تحويل)



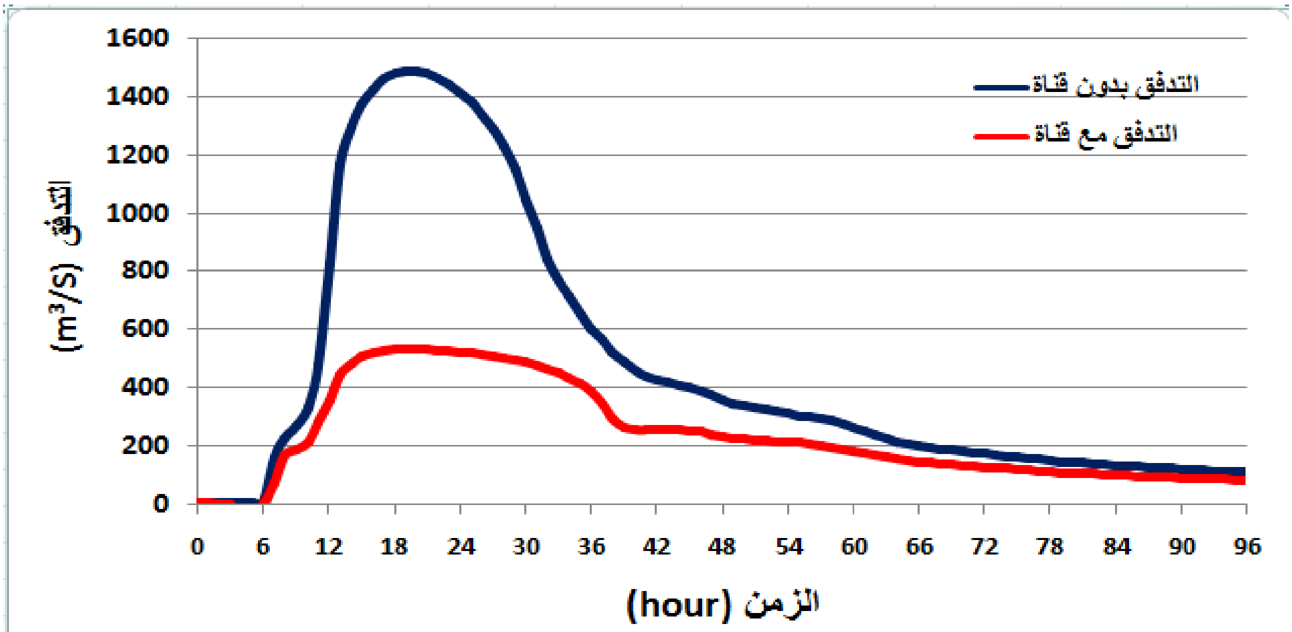
الشكل (4–28) قيم ارتفاع الغمر في كل مقطع في الحالتين (الحالة الطبيعية ومع أقنية تحويل)

2 تأثير إنشاء أقنية التحويل وأحواض التجميع على سد الرستن

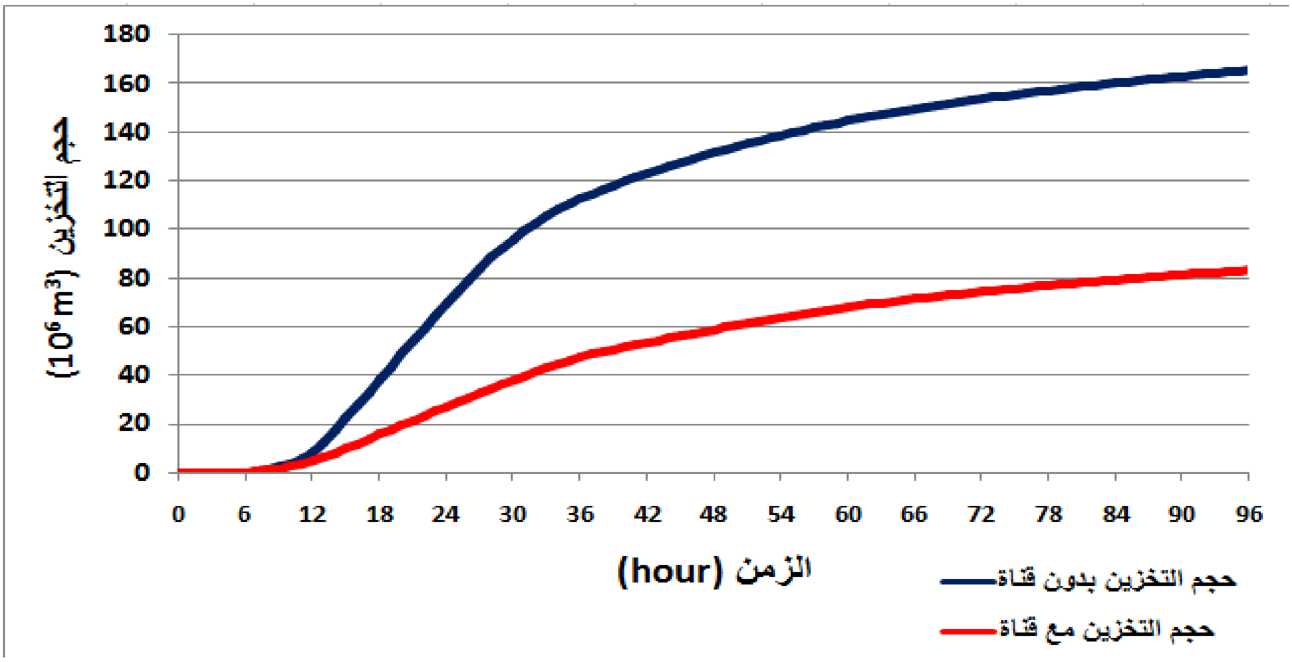
إن الهدف الأساسي من إنشاء أقنية التحويل (خاصة القناة الثانية) هو تخفيف الضغط عن سد الرستن وبالتالي حمايته من خطر الانهيار في حال حصول انهيار افتراضي لسد قطينة.

دُرسَت المحطة السابعة (بحيرة الرستن) في الفصل الثالث ورُسِمَت مخططات الغمر فيها في حال انهيار افتراضي لسد قطينة وسندرس هذه المحطة بعد إنشاء أقنية التحويل ونقارن المخططات مع بعضها.

يبين الشكل (4−29) والشكل (4−30) المقارنة بين قيم التدفق الفيضاني وحجم التخزين الإضافي في بحيرة الرستن بالحالة الطبيعية وبعد إنشاء أقنية التحويل وزمن وصول التدفق الأعظمي في الحالتين.



الشكل (4−29) قيمة التدفق الفيضاني الواصل إلى بحيرة الرستن في الحالتين (الحالة الطبيعية ومع أقنية تحويل)



الشكل (4−30) حجم التخزين الإضافي في بحيرة الرستن في الحالتين (الحالة الطبيعية ومع أقنية تحويل)

تحليل النتائج:

نلاحظ من الشكلين السابقين التأثير الكبير لإنشاء أقنية التحويل وأحواض التخزين على سد الرستن:

1- انخفضت قيمة التدفق الفيضاني الأعظمي الواصل إلى سد الرستن بقيمة ($Q=1000\ m^3/S$) تقريباً.

2- انخفض حجم التخزين الإضافي في بحيرة الرستن بعد اربع أيام من الفيضان إلى النصف تقريباً وهذا مهم جداً وخاصة في حالات التخزين الكبيرة لبحيرة الرستن ومدى قدرتها على استيعاب هذا الحجم دون إلحاق ضرر في سد الرستن.

4-3-3 إجراءات التفريغ من سد الرستن

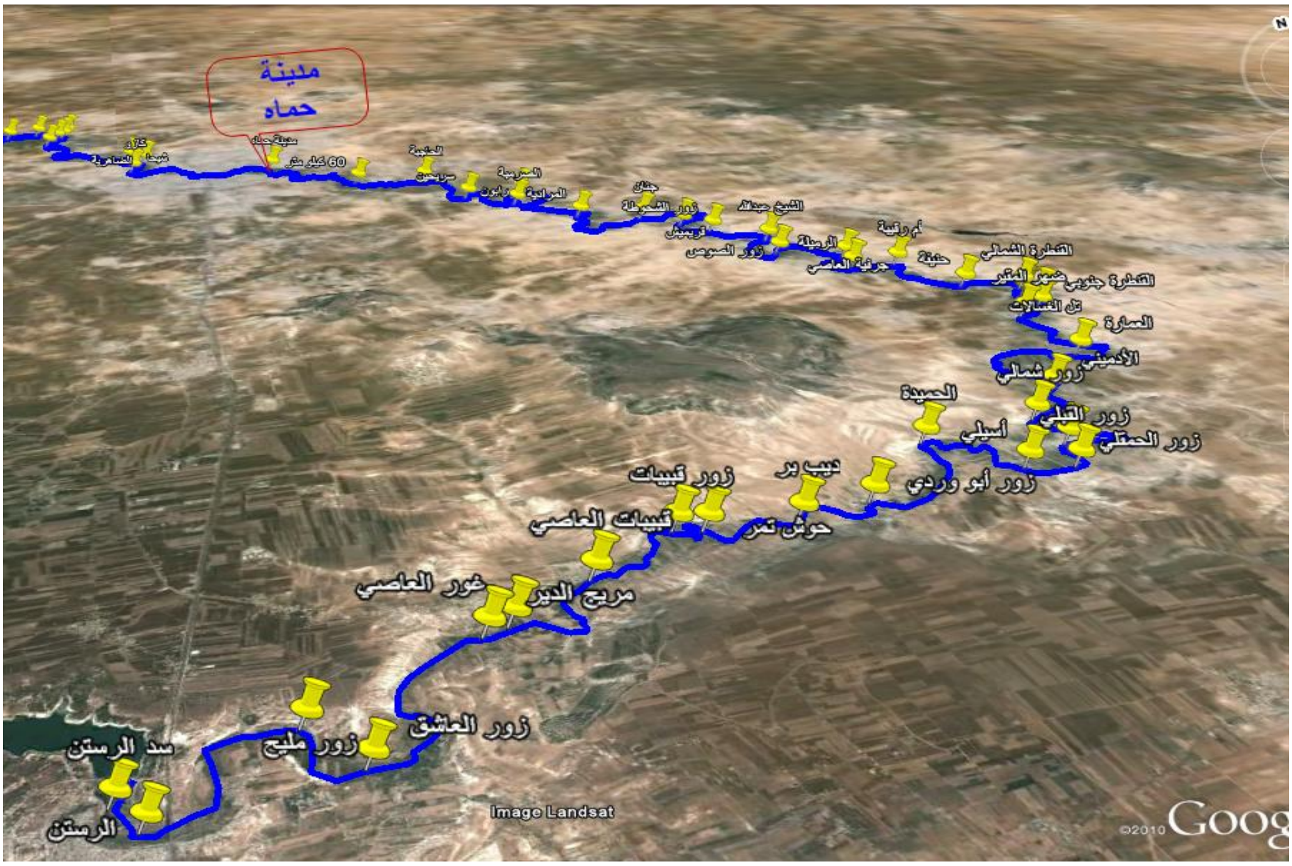
يُعّد تفريغ سد الرستن وفق سيناريو دقيق ومحسوب الخطوات إجراءً مهماً من إجراءات التخفيف من أثار الفيضان الناجم عن انهيار سد قطينة وذلك لأن لانهيار السد (في حال حصوله) آثاره مدمرة، نظراً لـ :

1- ارتفاع سد الرستن الكبير ($H=67\ m$)

2- حجم التخزين الكبير لبحيرة الرستن ($250\ mm^3$)

3- توزع القرى خلف السد بالقرب من مجرى النهر وذات مناسيب منخفضة صورة (4-7).

4- مرور نهر العاصي خلف السد ضمن مدينة حماه.

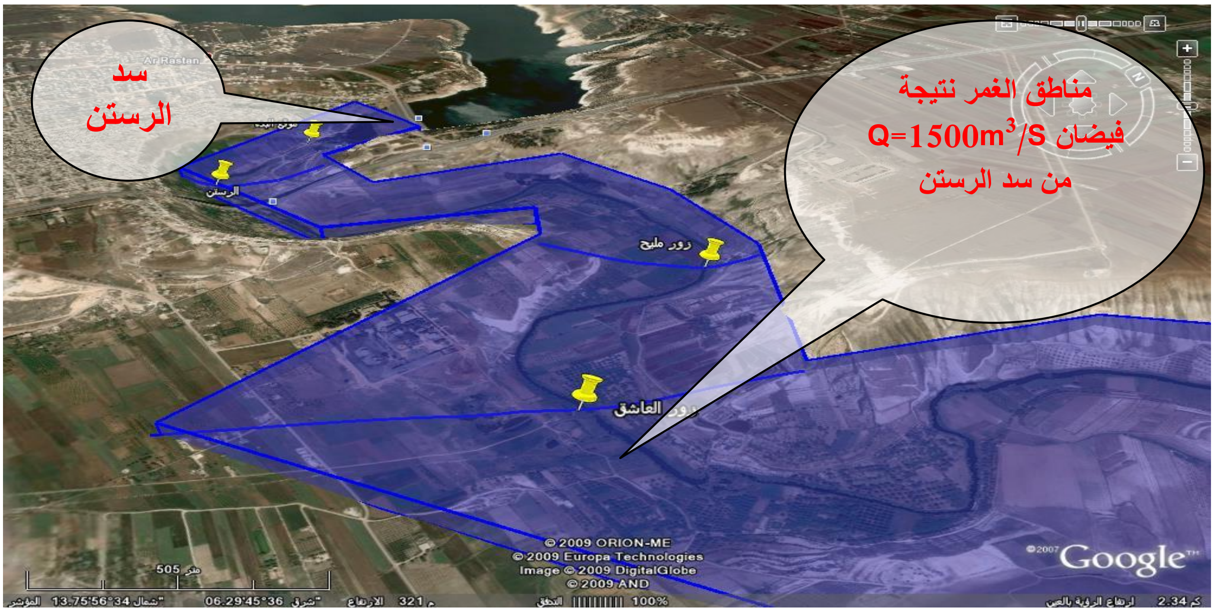


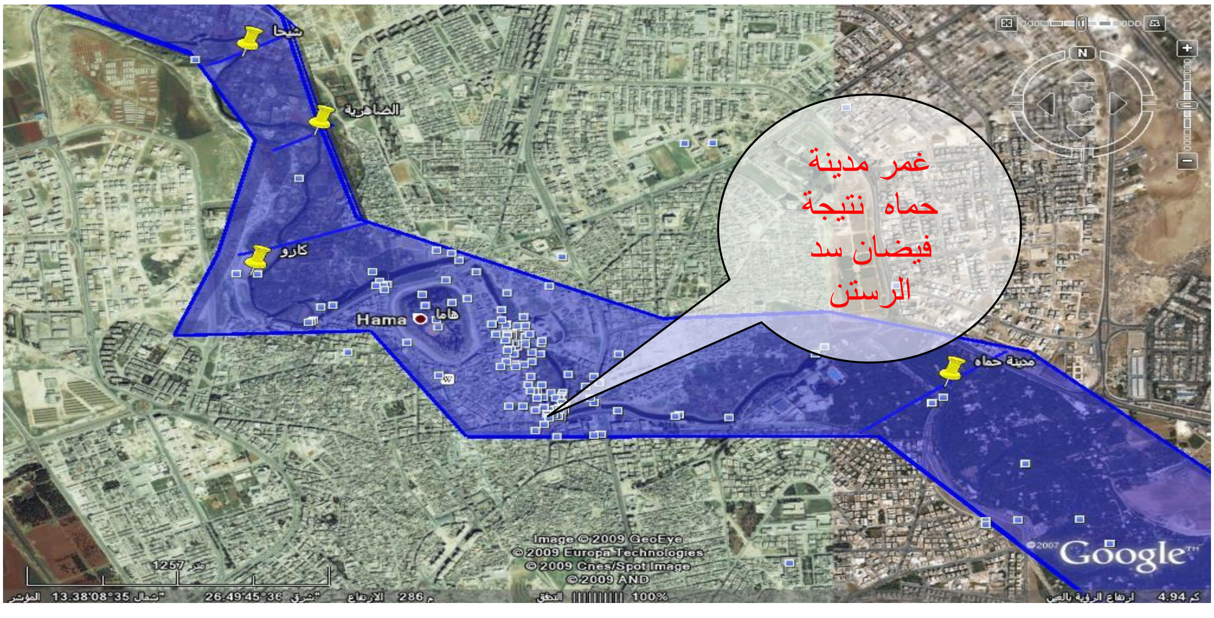
صورة (4-7) توزع القرى على ضفتي نهر العاصي خلف سد الرستن

- **دراسة احتمال انـهيار سد الرستن من جراء انـهيار سد قطينة**

نلاحظ من مخططات الغمر الخاصة ببحيرة الرستن الشكل (4−29) أنه في الحالة الطبيعية لمجرى النهر (بدون أقنية تحويل) قيمة التدفق الفيضاني الأعظمي الواصل إلى سد الرستن هي بحدود ($Q=1500\ m^3/S$) على اعتبار سد الرستن في الحالة التخزينية العظمى نستطيع حماية السد من الانهيار من خلال تفريغ هذه القيمة للتدفق من خلال بوابات السد (ثلاث بوابات تصريف كل واحدة $Q=500\ m^3/S$) وبالتالي احتمال انهيار السد غير وارد.

ولكن من خلال دراسة حالة فتح البوابات الثلاثة نلاحظ أنها تسبب فيضان يؤدي إلى غمر المناطق خلف السد تصل حتى مدينة حماه، والصور التالية تبين مخطط الغمر الناجم من فيضان بقيمة ($Q=1500\ m^3/S$)





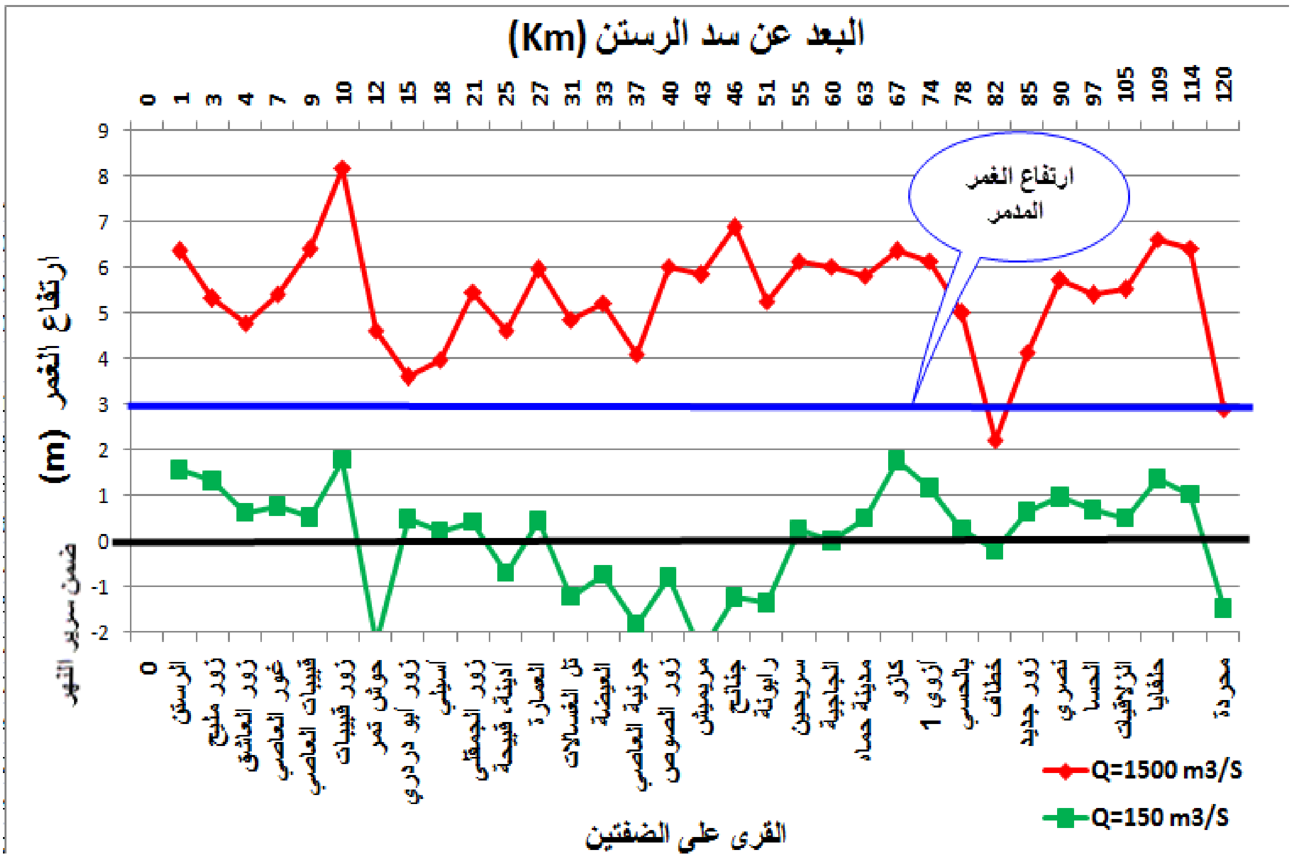
صورة (4−8) مخططات الغمر خلف سد الرستن نتيجة فتح البوابات

نلاحظ من الصور السابقة أن فتح البوابات بشكل كامل هو حل يمنع انهيار سد الرستن ولكنه يؤدي إلى فيضان يسبب غمراً خطيراً لمناطق كثيرة خلف السد (ارتفاع الغمر يتجاوز 3m) وبالتالي يجب أن تكون عملية تفريغ التدفق الفيضاني الواصل إلى سد الرستن مدروسة دون أن تُحدِث أضراراً خلف السد.

4-3-3-1 تفريغ سد الرستن وفق السيناريو الآمن

من خلال دراسة سد الرستن والمناطق خلفه تبين أن قيمة التدفق الآمن الذي يستوعبه النهر دون حصول فيضان يسبب غمراً خطيراً (ارتفاع الغمر h<3m) للمناطق المجاورة للنهر هو $(Q=150\ m^3/S)$.

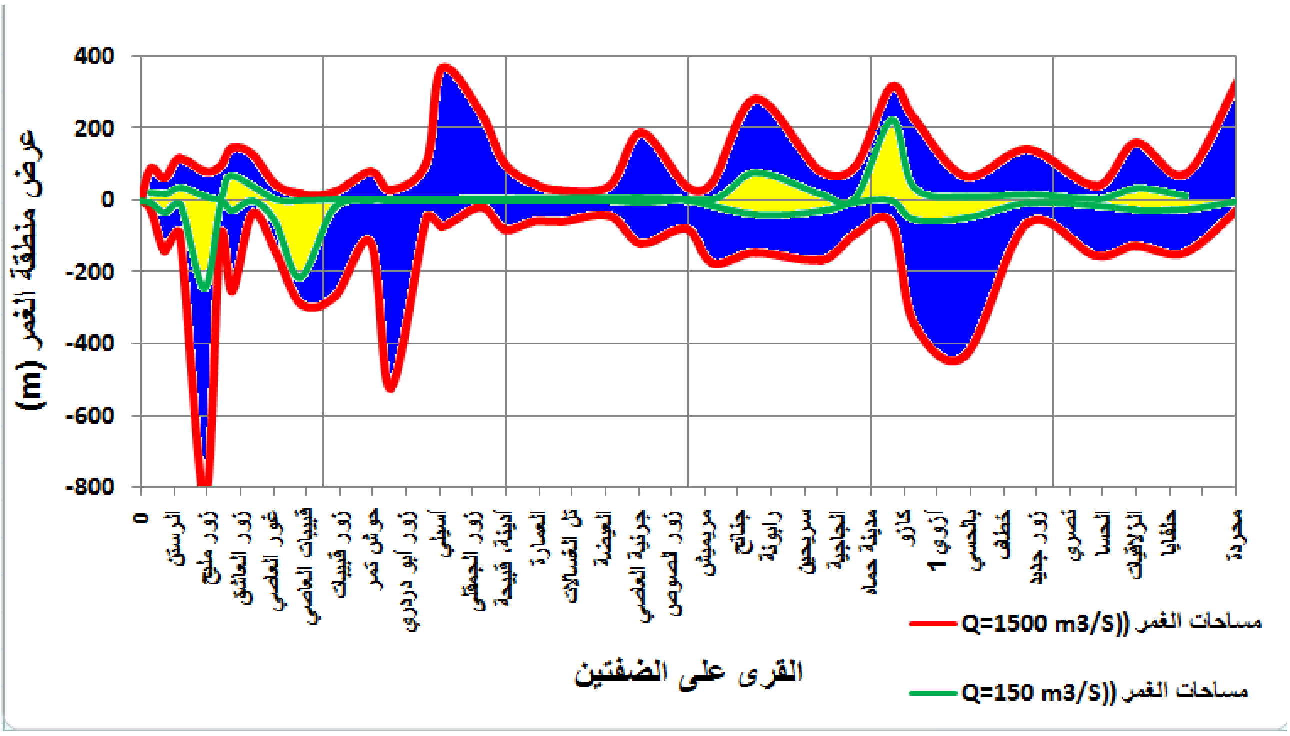
يبين الشكل التالي (4-31) قيمة ارتفاع الغمر في القرى خلف سد الرستن فيما لو تم فتح البوابات بتدفق (Q=1500 m3/S , Q=150 m3/S)



الشكل (4-31) ارتفاع الغمر في القرى خلف سد الرستن وفق الحالتين (الأعظمية ، الآمنة) لفتح البوابات

نلاحظ من الشكل السابق أنه في حال فتح البوابات وفق الحالة الأعظمية بحيث تمرر تدفق قدره (Q=1500 m3/S) يتجاوز ارتفاع الغمر في كل المناطق خلف السد الحد المسموح (h>3m).

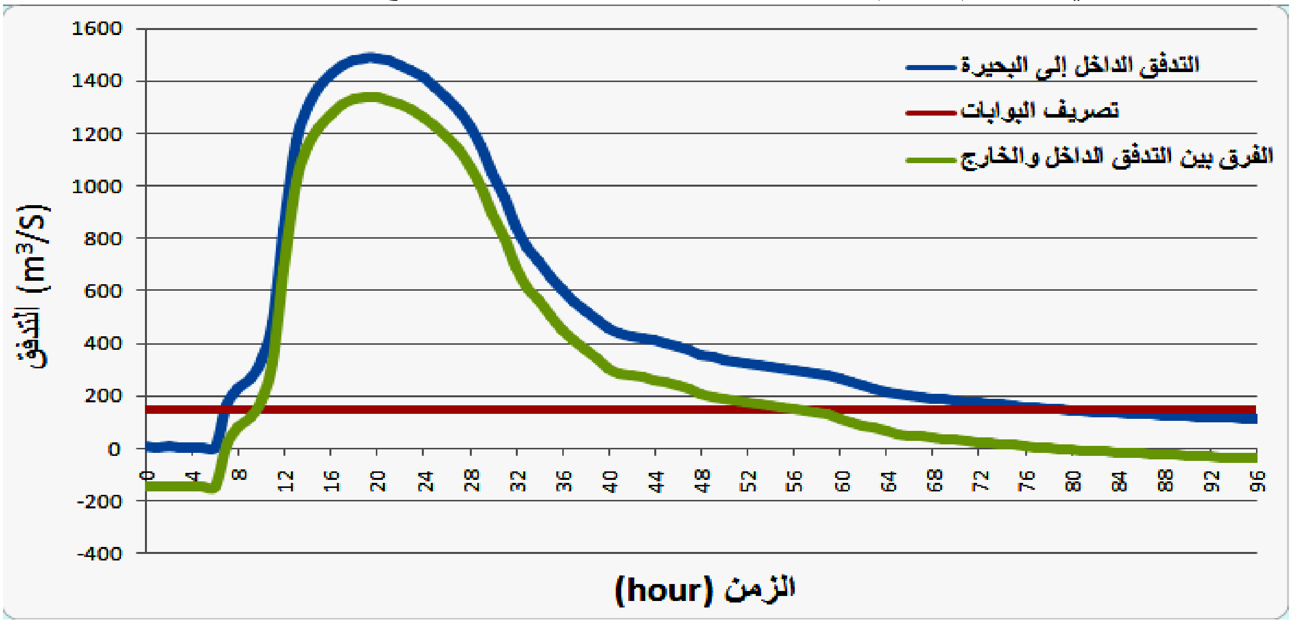
أما في حال فتح البوابات بالشكل الآمن (Q=150 m3/S) فنلاحظ أن ارتفاع الغمر في أغلب المناطق ضمن الحد المسموح (h<2m).



الشكل (4–32) مساحات الغمر في القرى خلف سد الرستن وفق الحالتين (الأعظمية ، الآمنة) لفتح البوابات

نلاحظ من الشكل (4–29) أن التدفق الفيضاني الناجم عن انهيار سد قطينة يبدأ بالوصول إلى بحيرة الرستن بعد سبع ساعات تقريباً يجب الاستفادة من هذا الزمن للبدء بتفريغ أكبر حجم من سد الرستن (على اعتبار أن السد بالحالة التخزينية العظمى) ليكون قادر على استيعاب الحجم الفيضاني الواصل إليه.

إذا قمنا بفتح البوابات من الساعة الأولى لانهيار سد قطينة بشكل تصرف فقط Q=150 m3/S نحصل على المخطط التالي الشكل (4–33) للتدفق الواصل إلى البحيرة والتدفق الخارج من البوابات.

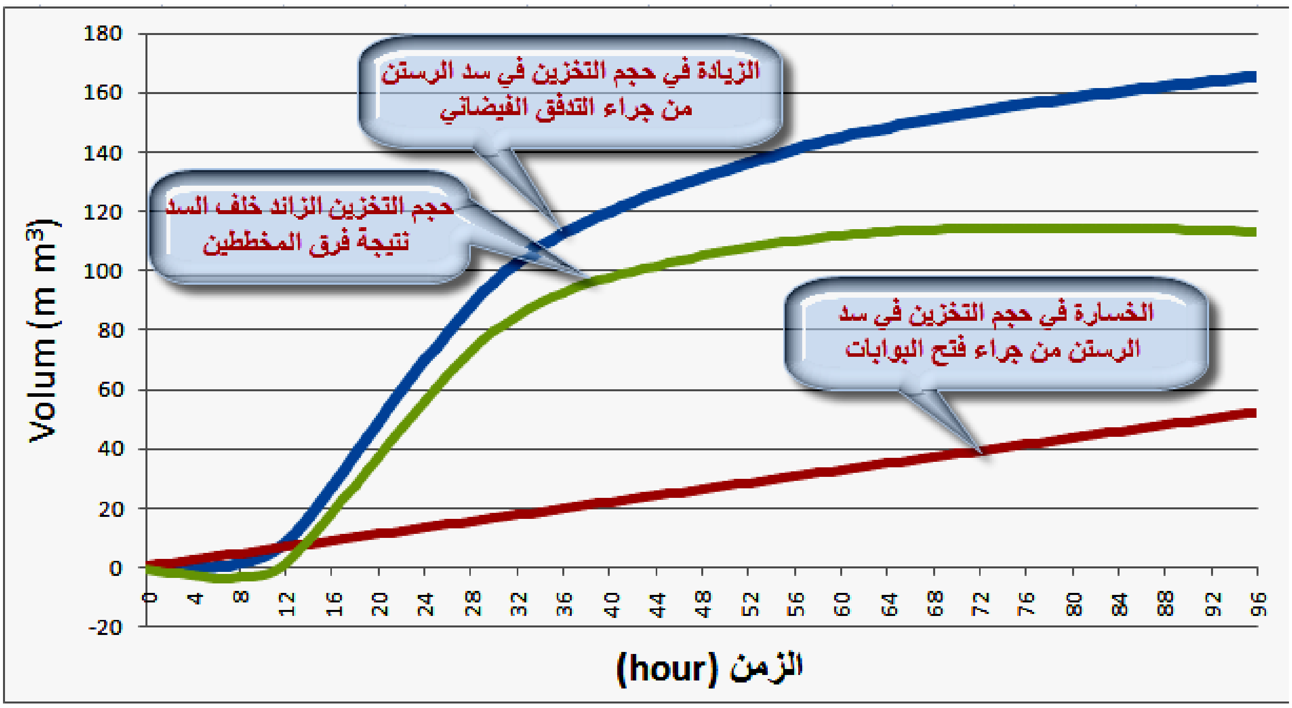


الشكل (4–33) التدفق الواصل إلى البحيرة والتدفق الخارج منها

نلاحظ من الشكل السابق (4-33):

قيمة التدفق الفيضاني الواصل إلى بحيرة الرستن أكبر بكثير من قيمة التدفق الخارج من البوابات ولكن هذا الإجراء يكون مفيد في حالات التخزين المنخفضة لسد الرستن بحيث يستوعب الزيادة في الحجم الواصل إليه.

يبين الشكل (4-34) الزيادة في حجم التخزين في سد الرستن الناتجة عن التدفق الفيضاني الواصل إليه بعد أربعة أيام من انهيار سد قطينة



الشكل (4-34) الزيادة في حجم التخزين في البحيرة والخسارة في حجم التخزين منها

نلاحظ من الشكل (4-34)

1 - حجم التخزين الذي يفقده السد نتيجة فتح البوابات من الساعة الأولى للانهيار هو بحدود($V=50\ mm^3$)

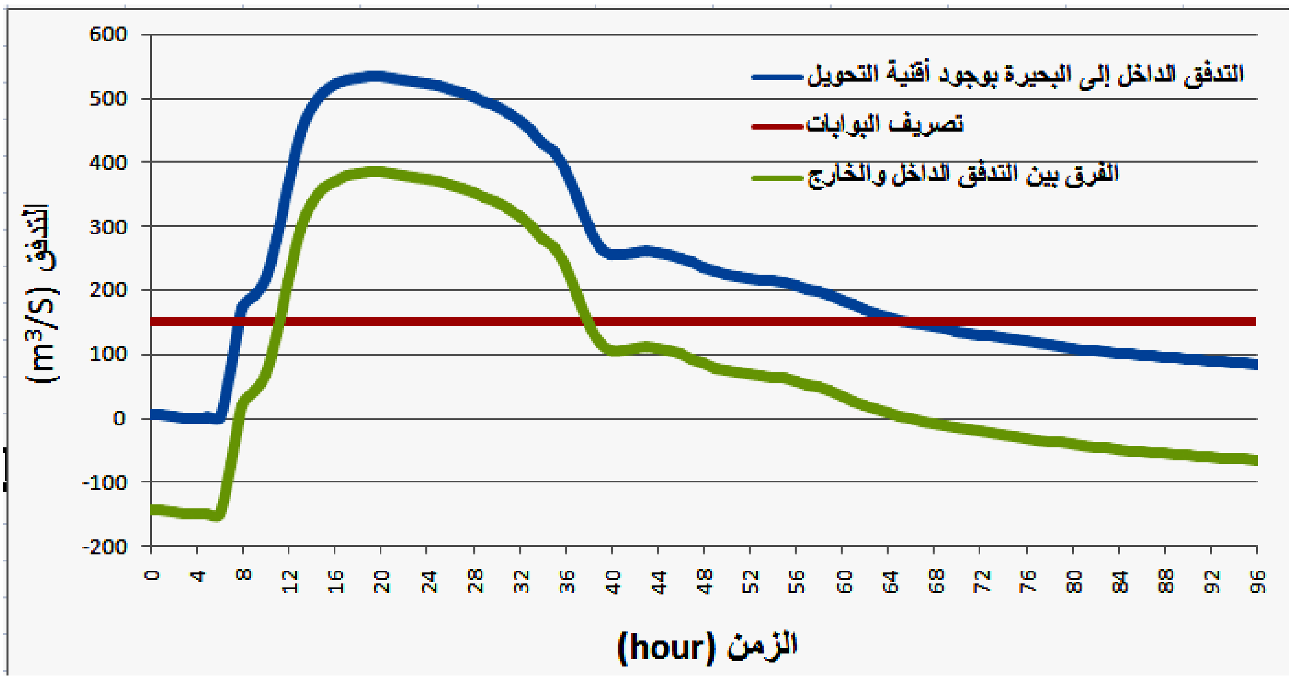
2 - الحجم المتبقي (الإضافي) خلف السد من جراء التدفق الفيضاني الواصل إلى البحيرة بعد أربعة أيام من الانهيار هو بحدود ($V=115\ mm^3$) وهي تقريباً نصف السعة التخزينة لسد الرستن.

لذلك لابد من تطبيق إجراءات الحماية السابقة للتخفيف من حجم التخزين الإضافي الواصل إلى سد الرستن.

4-3-3-2 تفريغ سد الرستن وفق السيناريو الآمن مع تطبيق إجراءات الحماية اللازمة

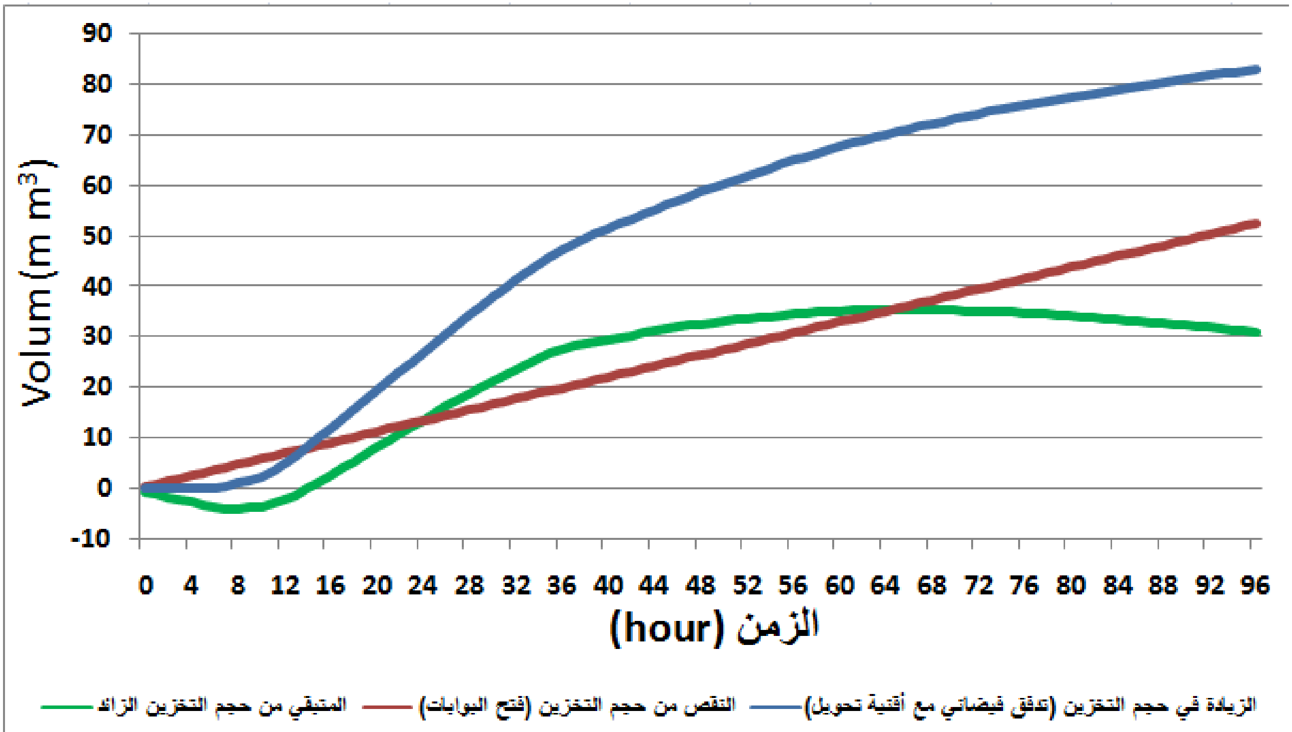
ندرس حالة تفريغ سد الرستن بالوضع الآمن (التدفق الخارج من البوابات $Q=150\ m^3/S$) ولكن مع تطبيق إجراءات الحماية من أخطار الفيضان المدروسة سابقاً (إنشاء أقنية تحويل للمياه مع أحواض تجميع).

نلاحظ من الشكل (4-29) أن قيمة التدفق الواصل إلى بحيرة الرستن بعد تطبيق إجراءات الحماية يصل إلى ($Q=500\ m^3/S$) إذا قمنا بفتح البوابات لتصرف كمية من هذا التدفق بشكل آمن على المناطق خلف سد الرستن من بداية حصول الانهيار نحصل على الشكل التالي (4-35)



الشكل (4-35) التدفق الواصل إلى البحيرة والتدفق الخارج منها بعد تطبيق إجراءات الحماية

نلاحظ من الشكل (4-35) أن قيمة التدفق الأعظمي المتبقي في البحيرة بعد تصريف البوابات هو بحدود ($Q=350\ m^3/S$).



الشكل (4-36) الزيادة في حجم التخزين في البحيرة بعد تطبيق إجراءات الحماية وفتح البوابات بشكل آمن

نلاحظ من الشكل (4-36) أن حجم التخزين المضاف إلى حجم التخزين الطبيعي في البحيرة من جراء التدفق الفيضاني بعد تصريف جزء منه عن طريق فتح البوابات هو بحدود ($V=30\ m\ m^3$)

4-4 نتائج الحلول المقترحة للتحكم بالفيضان والتخفيف من آثاره

➢ **زيادة معامل خشونة ضفاف المجرى (معامل مانينغ للضفاف n) من خلال زراعة أشجار عميقة الجذور**

1- تبين من الدراسة أن زيادة معامل خشونة الضفاف من خلال زراعة الأشجار يؤدي إلى نقصان في قيمة التدفق الفيضاني بنسب متفاوتة في المناطق الواقعة خلف السد، بسبب تأثير الأشجار في تشتيت الموجة الفيضانية، ويلاحظ تأثيره في تخفيض التدفق بنسبة 50% في بعض المناطق.
2- تبين من الدراسة أن زيادة معامل خشونة الضفاف، يؤدي إلى زيادة ارتفاع الغمر في بعض المناطق بسبب وجود الأشجار التي تعيق حركة التدفق الفيضاني مما يؤدي إلى تجميعه وزيادة في ارتفاع الغمر، ولكنها محدودة ضمن منطقة الأشجار وبالتالي لا يوجد في هذه المنطقة أبنية سكنية أو منشآت.
3- تبين أن زيادة معامل الخشونة كان له تأثير كبير في تأخير وصول الموجة الفيضانية، حيث يؤدي إلى زيادة في زمن الوصول لكل مقطع بنسب متفاوتة، ويلاحظ تأثيره بنسبة 200% في بعض المقاطع مما يزيد من زمن إدارة خطة الطوارئ.

➢ **إنشاء أقنية تحويل لمياه الفيضان إلى أحواض تجميع (بحيرات تخزين)**

4- نلاحظ من الشكلين (4-27) و (4-28) تأثير إنشاء قناة التحويل الأولى في تخفيض قيمة التدفق الفيضاني الواصل إلى المناطق المتأثرة بالفيضان خلف السد وتخفيض ارتفاع الغمر بمقدار 2m في بعض المناطق مثل (منطقة دوار المهندسين وديك الجن).
5- انخفضت قيمة التدفق الفيضاني الأعظمي الواصل إلى سد الرستن من ($Q=1500\ m^3/S$) إلى ($Q=500\ m^3/S$) جراء إنشاء قناتي التحويل الأولى والثانية.
6- انخفض حجم التخزين الإضافي (الناجم عن التدفق الفيضاني) على التخزين الطبيعي في بحيرة الرستن بعد أربعة أيام من الفيضان من ($V=165.5\ m\ m^3$) إلى ($V=82\ m\ m^3$) أي النصف تقريباً وهذا مهم جداً وخاصة في حالات التخزين الكبيرة لبحيرة الرستن ومدى قدرتها على استيعاب هذا الحجم الإضافي دون إلحاق ضرر في سد الرستن.

➢ إجراءات التفريغ من سد الرستن

7 –نلاحظ من الشكل (4–31) أن قيمة التدفق الآمن الذي يستوعبه النهر خلف سد الرستن (في حالة فتح البوابات بنسبة معينة) دون حصول فيضان خطر على المناطق المجاورة للنهر هو ($Q=150\ m^3/S$).

8 –الحجم المتبقي (الإضافي) خلف السد جراء التدفق الفيضاني الواصل إلى البحيرة بعد فتح البوابات بشكل آمن هو بحدود ($V=115\ mm^3$) وهي تقريباً نصف السعة التخزينة لسد الرستن.

9 –إن حجم التخزين المضاف إلى حجم التخزين الطبيعي في البحيرة جراء التدفق الفيضاني بعد فتح البوابات بشكل آمن وتصريف جزء من التدفق باستخدام أقنية التحويل هو بحدود ($V=30\ m\ m^3$).

النتائج والمقترحات

النتائج والمقترحات

أهم نتائج البحث

1- تبين من الدراسة أن زيادة معامل خشونة الضفاف (زراعة الأشجار)، له تأثير إيجابي على تخفيض قيمة التدفق الفيضاني وتأخير وصول الموجة الفيضانية بينما يؤثر بشكل سلبي في زيادة ارتفاع الغمر.

2- تبين من الدراسة أهمية إنشاء أقنية التحويل وتأثيرها في تخفيض قيمة التدفق الفيضاني الواصل إلى المناطق المتأثرة بالفيضان خلف السد، وتخفيض قيمة التدفق الفيضاني الأعظمي و حجم التخزين الإضافي الواصل إلى سد الرستن إلى النصف تقريباً.

3- تبين من الدراسة أن قيمة التدفق الآمن الذي يستوعبه النهر خلف سد الرستن هو ($Q=150\ m^3/S$).

4- تبين من الدراسة إن حجم التخزين الإضافي في بحيرة الرستن نتيجة الانهيار الافتراضي لسد قطينة هو بحدود ($V=30\ m\ m^3$) بعد القيام بكافة إجراءات الحماية الممكنة.

5- تبين من الدراسة أن المناطق ذات الخطر العالي جداً وفق معيار ارتفاع الغمر ومعيار زمن وصول الموجة الفيضانية هي(المنطقة من سد قطينة حتى ديك الجن) كما هو مبين في الشكلين(3−4)و(4−4)

6- تبين من الدراسة أن سد قطينة، على الرغم من تصنيفه سد صغير نسبة لارتفاعه (7m)، ولكنه يعتبر سد عالي الخطورة بتصنيفه حسب درجة الخطورة، بسبب الخسائر الناجمة عن انهياره من (ضحايا بشرية – خسائر مادية كبيرة ....)

مقترحات

1- يُنصح بتخفيض الحجم التخزيني في بحيرة الرستن بمقدار($V=30\ m\ m^3$) إذا كانت البحيرة في حالة التخزين الأعظمي وحدث تنبؤ باحتمال حدوث انهيار لسد قطينة.

2- ضرورة إعادة تصنيف السدود المنفذة في سورية حسب معيار درجة الخطر الكامن لها، وفق الأسس والمعايير المعتمدة عالمياً.

3- ضرورة الاعتماد على أنظمة دعم القرار وبشكل خاص نظام المعلومات الجغرافية (GIS)، في تطوير فعالية إدارة الكوارث وزيادتها ومنها كارثة انهيار سد.

4- ضرورة التخطيط لحالات الطوارئ وتركيب أنظمة الإنذار في السدود المعرضة لخطر الانهيار، حتى لو كان السد آمناً من الناحية الإنشائية، وضرورة مشاركة سكان المنطقة بالخطة وتدريبهم على خطوات خطة الطوارئ.

5- ضرورة المحافظة على الغطاء النباتي، وزراعة الأشجار حول مجرى النهر وحراثة الأرض بشكل يتعامد مع الانحدار للتخفيف قدر الإمكان من الآثار السلبية للفيضانات.

6- ضرورة تقسيم المناطق خلف السد حسب درجات الخطر اعتماداً على نتائج مخططات الغمر الناجمة عن سيناريو انهيار افتراضي للسد بالحالة التخزينية العظمى.

المراجع

المراجع العربية:

1 -إبراهيم الأحديب، الكوارث الطبيعية و كيفية مواجهتها، الرياض، منشورات جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية، 1998م.

2 -أحمد سلميان، علاء الظواهري، خالد حسين، هشام بخيت (2014)، رسالة دكتوراه تحذر من انهيار السد العالي بسبب سدود إثيوبيا.

3 -أحمد وحيد مصطفى- 2009- مدخل في التصميم والمعرفة.

4 -الياس ليوس وشعبان حديد ، استثمار وصيانة المنشآت المائية، منشورات جامعة البعث،كلية الهندسة المدنية ، 2010-2009 .

5 -ثائر محمود الطائي، انس محمد محمود رشيد (2009)، محاكاة موجة فيضان نهر دجلة نتيجة الانهيار الافتراضي لسد الموصل.

6 -جامعة الدول العربية، تنفيذ الإستراتيجية العربية للحد من الكوارث، 2008م.

7 -جمال حواش، الأزمات والتفاوض، الجزء الثاني، القاهرة، أكاديمية ناصر العسكرية العليا، 1999م.

8 -جمال اليوسف، محمد عيسى، جامعة دمشق -كلية الاقتصاد -قسم الإدارة (2010)- المحاكاة

9 - جمعة محمد داود ، معراج بن نواب مرز، خالد بن عبد الرحمن الغامدي، (2011)، تقييم مخاطر الفيضانات المفاجئة بمدينة مكة المكرمة بالاعتماد على نظم المعلومات الجغرافية.

10 -شعبان حديد و بسام ابراهيم، المنشآت المائية /2/ (السدود)،حمص،منشورات جامعة البعث،كلية الهندسة المدنية ،2007.

11 -عدنان ماجد عبدالرحمن بري، جامعة الملك سعود- قسم الإحصاء وبحوث العمليات، 2002، النمذجة والمحاكاة باستخدام /Excel, SIMAN, Simulation System (GPSS WORLD)/

12 -غالب الجندي، البرنامج التدريبي لإدارة الكوارث و السلامة العامة، دمشق، وزارة الإدارة المحلية، برنامج الأمم المتحدة الإنمائي، 2003.

13 -فاضل عبد العباس حسن، محاضرات مادة الهيدرولوجيا الهندسية - المرحلة الرابعة.

14 -محمد صلاح سالم، إدارة الأزمات و الكوارث بين المفهوم النظري و التطبيق العملي، عين للدراسات و البحوث الإنسانية، القاهرة، 2005.

15 -محمد الرشيد قريش (2013)، قراءة علمية وتحليلية لتقرير اللجنة الدولية لسد النهضة.

16 -محمد راتول، تحليل الانحدار الخطي البسيط.

17 -منير البعلبكي، موسوعة المورد، المجلد الثالث ، بيروت ، 1980.

المراجع الأجنبية

18- Alford/ 2000, Stucky Consulting Engineers /2001, Usoi Dam Wave Overtopping and Flood Routing in the Bartang and Panj Rivers, Tajikistan.
19- Carla Freitas Andrade, Vanessa Ueta, Patrícia Freire Chagas, Silvia Helena Santos and Raimundo Souza, Hydrology Days 2010, Flood Risk Analysis of Coco Urban River in Fortaleza, Brazil.
20- Chalfen, M.; Niemiec, A. (1996). Analytical and Numerical Solution of Sain-Venant Equations. Journal of Hydrology.
21- Charles G. Goodman Jr- Denton (2007), Dam Failure Response Plan
22- D. Leslie Miller, P.E.,2010, Flood Preparedness Program Manager, Flood Fight Design, Planning and Methods,US Army corps of engineers,portland district.
23- Dr. C.J. van Westen, Dr. D. Alkema, 2012,2D Flash Flood Simulation of the Tangjiashan Landslide Dam induced by the 2008 Wenchuan Earthquake
24- Elisabetta Natale,(2009) ,Dam Break Risk Assessment in Baker Valley (Chilean Patagonia).
25- Floodplain Delineation with HEC-RAS and GIS,September 6-8, 2011,Texas A&M University.
26- Inspection & Maintenance of Dams , Ministry of Environment, Lands, and Parks, Water Management Branch, British, Columbia , Canada, 1998.
27- Indiana Dam Inspection Manual , Department of Natural Resources ,2003.
28- Japan International Cooperation Agency (JICA).
29- John Schurer,Eric Wilkinson,James Norfleet, John Van Sciver,Clint Huntington,Chin, Lee,Allan, DAM SAFETY MANUAL, State Engineer's Office, State of Colorado, 2002.
30- Kalita H. M1, Sarma A. K, 2012, Efficiency and performances of finite difference schemes in the solution of saint Venant's equation.
31- Kabdasli and B. Rudvan, Risk Assessment of A Dam-Break Using GIS Technology.
32- Knill and Smith,2010, Flood Management.
33- L.Y. Sidek, F.C. Ros, N.N.N. Ibrahim, A.Z.A. Razad, M.N. Ahmad,(2011), Hydrodynamic Dam Breach Modelling of Earthfill Saddle Dam
34- McGraw Hill, 2000,Simulation using ProModel.
35- Migena ZAGONJOLLI (2007),Dam Break Modelling, Risk Assessment and Uncertainty Analysis for Flood Mitigation
36- Mohamed A. A. Mohamed, Paul G. Samuels, Mark W. Morris,(2001),Modelling Breach Formation through Embankments

37- NajmO.S.Alghazali,DilshadA.H.Alhadrawi,(2012),The Mathematical Model of RCC Dam Break, Bastora Dam as a Case Study

38- Nils Reidar B. Olsen.(2007), Numerical Modelling and Hydraulics,Department of Hydraulic and Environmental Engineering The Norwegian University of Science and Technology.

39- Olsen, N. R. B. (2003) "3D CFD Modeling of a Self-Forming Meandering Channel", ASCE Journal of Hydraulic Engineering.

40- Patrícia and Souza, Raimundo, Hydrology Days 2010 , /Solution of Saint Venant's Equation to Study Flood in Rivers through Numerical Methods/

41- Pakorn PETCHPRAYOON,2005, THE PREDICTION OF FLASH FLOOD CAUSED BY DAM FAILURE A CASE STUDY AT THE THA DAN DAM, THAILAND.

42- Patrícia Freire Chagas, Silvia Helena Santos, Carla Andrade ,(2010), Application of Mathematical Modeling to Study Flood Wave Behavior in Natural Rivers as Function of Hydraulic and Hydrological Parameters of the Basin.

43- Peter Hill, David Bowles, Phillip Jordan and Rory Nathan(2003),ESTIMATING OVERALL RISK OF DAM FAILURE: PRACTICAL CONSIDERATIONS IN COMBINING FAILURE PROBABILITIES

44- P Novak, AIB Moffat, C Nalluri, R Narayanan - 2007 - books. Hydraulic structures fourth edition. .

45- prepared by the interagency committee on dam safety, U.S,department of hom land security, Emergency Action planning. 2004.

46- River Channels - Center for Research in Water Resources.

47- Roberson, J.A., Cassidy, J.J., Chaudhry, M.H. (1998). Hydraulic Engineering, 2nd Edition, USA.

48- Rudolf Biedermann ,Safety concept for dams. Development of the Swiss concept , 1997.

49- Sanjay S. Chauhan, David S. Bowles and Loren R. Anderson,(2004),DO CURREN T BREACH PARAMETER ESTIMATION TECHNIQUES PROVIDE REASONABLE ESTIMATES FOR USE IN BREACH MODELING?

50- Saqib Ehsan, and Walter Marx(2014), Dam Break Modeling for Large Earth and Rock-fill Dams

51- Tamsin Lyle - northwest hydraulic consultants , November 24th, 2004,Flood Plain Management in British Columbia.

52- T.R. Bender , J.M. Wilson ,2010 , river flood control.

53- US Army Corps of Engineers. (2010). After Action Report: May 2010 Flood Event Cumberland River Basin.
54- University Corporation of Atmospheric Research/Basic Hydrologic Science Course /2006.
55- VINCENT J. MAZZEI, JR., PE , 2008, STATE OF NEW JERSEY, THE NEW FLOOD HAZARD AREA CONTROL ACT RULES.
56- Wayne J. Graham,(1999),A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure.
57- Yi (Frank) Xiong , Mississippi State University, (2011), A Dam Break Analysis Using HEC-RAS

مواقع انترنت

58- www.ar.wikipedia.org/w/index.phptitle سدود نهر- العاصي
59- www.arch.mcgill.ca/prof/sijpkes/arch374/winter2001/dbiggs/what.html
60- www.cdd.gov.jo/uploads/waqe3_alsdood.doc واقع السدود في الأردن
61- www.forum.arabia4serv.com/t67553.htm1
62- www.fema.gov, Federal Emergency Management Agency.mht ,
63- www.fema.gov/plan/prevent/damfailure/index.shtm انهيار السدود 2008
64- www.fema.gov, Emergency Action Plan (EAP) Guidelines 2005
65- www.icold.com. ICOLD 1995 انهيارات السدود دراسات إحصائية
66- www.icold.com , Emergency Action Plan (EAP) Guidelines revised,2005.
67- www.npdp.standford.edu , Historic record of dam performance.
68- www.palweather.ps/ar/node/8449.html (اليابان)
69- www.sciencesway.net/ موسوعه شامله عن انهار العالم

الفهرس

فهرس الجداول

فهرس الأشكال والصور

Syrian Arab Republic
Albaath University
Civil Engineering Faculty
Water Department

The Hydraulic Control Of Flood Wave Resulting from Probable Failure Of Earth dam Fail and Reducing its Results

Study prepared for the Ph.D in water engineering

Prepared by
Laila Halawa

Directed by

Dr.Sh.Hadeed **Dr.M.Ali**

2014-2015